



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica E Gestione Dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Innovazione del Prodotto

Tesi di Laurea Magistrale

Rottame metallico come commodity strategica: classificazione, qualità e casi applicativi di riciclo

Relatore:

Ch.mo Prof. Franco Bonollo

Laureando:

Filippo Ferrari

Matricola n. 2054481

Anno Accademico 2025–2026

Ringraziamenti

Desidero esprimere un sincero ringraziamento al Professor Franco Bonollo per la disponibilità, la guida e i preziosi suggerimenti forniti durante lo sviluppo di questo lavoro di tesi.

Un sentito ringraziamento a MG Marostica Group S.p.A. e a Veneta Ecorecuperi per la disponibilità e la collaborazione, che hanno reso possibile l'analisi dei casi studio presentati.

Un grazie speciale a Vera, compagna di vita, per il sostegno e la presenza costante in questi anni.

Un grazie alla mia famiglia, per avermi sempre accompagnato e sostenuto in questo percorso.

Abstract

Il rottame metallico riveste un ruolo sempre più strategico nel contesto industriale europeo, assumendo le caratteristiche di una vera e propria commodity globale. Acciaio, alluminio e rame rappresentano risorse fondamentali per la transizione energetica, la decarbonizzazione dei processi produttivi e la sicurezza dell'approvvigionamento delle materie prime. In tale scenario, la capacità di raccogliere, classificare e valorizzare correttamente il rottame metallico diventa un fattore determinante per la competitività e la sostenibilità della filiera del riciclo.

La presente tesi analizza il ruolo della classificazione e della qualità del rottame come leve chiave per ottimizzare i processi di riciclo e incrementare il valore delle materie prime secondarie. Dopo un inquadramento del contesto economico e normativo europeo, con particolare riferimento alle dinamiche del mercato del rottame e alle politiche comunitarie sulle materie prime critiche, il lavoro approfondisce i principali sistemi di classificazione merceologica e amministrativa, evidenziandone limiti e criticità operative.

L'analisi teorica è affiancata da un approccio applicativo basato su casi studio industriali. In particolare, viene esaminato il processo di classificazione dei rottami metallici presso MG Marostica Group S.p.A., con riferimento ai materiali ferrosi e non ferrosi, e il ciclo di gestione dei veicoli fuori uso osservato presso l'impianto Veneta Ecorecuperi. Questi casi consentono di mettere in luce il ruolo dell'esperienza operativa, delle tecnologie di selezione e delle procedure di controllo qualità nella valorizzazione del rottame.

Infine, la tesi considera il contributo della digitalizzazione e degli strumenti di intelligence, come la piattaforma M2i promossa da EIT RawMaterials, evidenziando come l'integrazione tra dati, tecnologia e governance possa supportare decisioni industriali e politiche più efficaci. Nel complesso, il lavoro mostra come la qualità del rottame e la sua corretta classificazione rappresentino elementi centrali per rafforzare l'economia circolare e la resilienza industriale europea.

Sommario

Ringraziamenti	3
Abstract	4
Introduzione	9
Capitolo 1 – Contesto Generale	9
1.1 L'importanza strategica dei metalli nell'economia europea	9
1.2 Il riciclo come leva per la transizione ecologica e la sicurezza delle risorse	13
Capitolo 2 – Il mercato del rottame: quadro economico e normativo.....	15
2.1 Il rottame come risorsa strategica nel mercato globale.....	15
2.2 Le principali criticità economiche e industriali.....	16
2.3 Evoluzione normativa e politiche europee.....	17
2.3.1 Il caso dell'alluminio: export di rottami, governance e implicazioni industriali	18
2.4 Prospettive future	19
Capitolo 3 – Classificazione e qualità del rottame metallico.....	21
3.1 Principali tipologie di rottame metallico.....	21
3.2 Classificazione merceologica e qualità dei rottami.....	21
3.3 Normative europee e italiane sulla classificazione dei rottami	23
3.4 Codici EER e classificazione amministrativa	23
3.5 Norme ISO e UNI per la qualità del rottame	24
3.6 Standard industriali e codifiche pratiche (EuRIC, EFR).....	25
Capitolo 4 – Approfondimento scientifico sul riciclo e classificazione dei rottami ...	27
4.1 Dinamiche economiche del mercato del rottame	27
4.2 Qualità del rottame e impatto sui processi	27

4.3 Tecnologie di classificazione e sorting	28
4.4 Barriere normative e operative.....	28
4.5 Posizionamento della presente ricerca	29
Capitolo 5 – Obiettivi della ricerca e contesto applicativo	30
5.1 Obiettivo generale	30
5.2 Contesto applicativo.....	30
5.2.1 Presentazione dell'azienda partner: MG MAROSTICA GROUP S.p.A... 30	
5.3 Analisi delle pratiche attuali di classificazione dei rottami presso MG Marostica Group S.p.A.	32
5.3.1 Percorso operativo del rottame: dall'ingresso alla classificazione	32
5.3.2 Strumenti e criteri di identificazione dei materiali.....	35
5.3.3 Rottami di acciaio al carbonio.....	35
5.3.4 Rottami di acciaio inossidabile	36
5.3.5 Rottami di rame e leghe di rame	36
5.3.6 Rottami di alluminio e leghe di alluminio.....	37
5.4 Criticità emerse e possibili direzioni di miglioramento	38
Capitolo 6 – Analisi del ciclo di fine vita di un veicolo: visita presso l'impianto Veneta Ecorecuperi	40
6.1 Introduzione	40
6.2 Quadro normativo di riferimento	40
6.2.1 Direttiva 2000/53/CE – "End-of-Life Vehicles Directive"	40
6.2.2 Decreto Legislativo 24 giugno 2003, n. 209	41
6.2.3 Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – "Testo Unico Ambientale" ...	41
6.3 Processo operativo di gestione del veicolo fuori uso	42
6.3.1 Registrazione e presa in carico del veicolo	44

6.3.2 Messa in sicurezza (Depollution).....	47
6.3.3 Recupero e riutilizzo dei componenti	51
6.3.4 Preparazione al riciclo: compattazione e invio a frantumazione	55
6.3.5 Recupero e raffinazione dei materiali	57
6.4 Criticità operative e limiti del processo	61
6.5 Prospettive di sviluppo e innovazione nel settore	62
6.6 Digitalizzazione e gestione dei ricambi nel settore dei veicoli fuori uso: il software PartsCoder	63
6.6.1 Il ruolo della digitalizzazione nella filiera ELV	64
6.6.2 Architettura e funzionalità del software PartsCoder	65
6.6.3 Impatti su efficienza operativa, tracciabilità e sostenibilità	65
6.7 Digitalizzazione avanzata e formazione immersiva nel settore ELV: il contributo del VR training e del digital twin.....	66
6.8 Considerazioni conclusive sul caso studio	68
Capitolo 7 – EIT RawMaterials e la piattaforma M2i come strumento di intelligence per la governance delle materie prime	70
7.1 Il ruolo dell’European Institute of Innovation and Technology (EIT).....	70
7.2 EIT RawMaterials: missione, ambiti di intervento e rilevanza strategica	70
7.3 Origine e finalità della Minerals & Metals Intelligence Platform (M2i)	71
7.4 Funzionalità attuali della piattaforma M2i.....	72
Architettura generale e modalità di navigazione.....	72
Industry Focus	72
Trade Focus	73
Region Focus.....	73
Commodity Focus	73

7.5 Limiti attuali della piattaforma M2i	74
7.6 Proposte di miglioramento e sviluppi futuri	75
Conclusioni	77
Bibliografia	80

Introduzione

Capitolo 1 – Contesto Generale

1.1 L'importanza strategica dei metalli nell'economia europea

Acciaio, alluminio, rame e ghisa rappresentano pilastri fondamentali dell'economia industriale europea. Essi costituiscono materiali chiave per settori strategici come l'automotive, le costruzioni, l'energia, l'elettronica e le infrastrutture. La transizione verso un'economia climaticamente neutra, resiliente e digitalizzata – obiettivi centrali del Green Deal europeo – non è possibile senza un uso efficiente e sostenibile di questi metalli.

Nel 2023 l'Unione Europea ha prodotto circa 126 milioni di tonnellate di acciaio grezzo, utilizzando circa 77,8 Mt di rottame d'acciaio.¹

Allo stesso tempo, ha esportato oltre 18 milioni di tonnellate di rottame ferroso fuori dal proprio territorio (Tabella 1.1.1), evidenziando una sovrabbondanza strutturale della risorsa rispetto al fabbisogno interno.² Oltre a costituire una risorsa locale fondamentale, il rottame metallico è oggi al centro di dinamiche economiche globali. In Figura 1.1.1 si mette in evidenza la tendenza dei volumi di esportazione del rottame ferroso dall'Unione Europea.

Anno	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Export [‘000 metric tonnes]	9135	11714	13410	15122	15579	17446	19430	17611	18741	16294

Tabella 1.1 - Exports of steel scrap from the EU

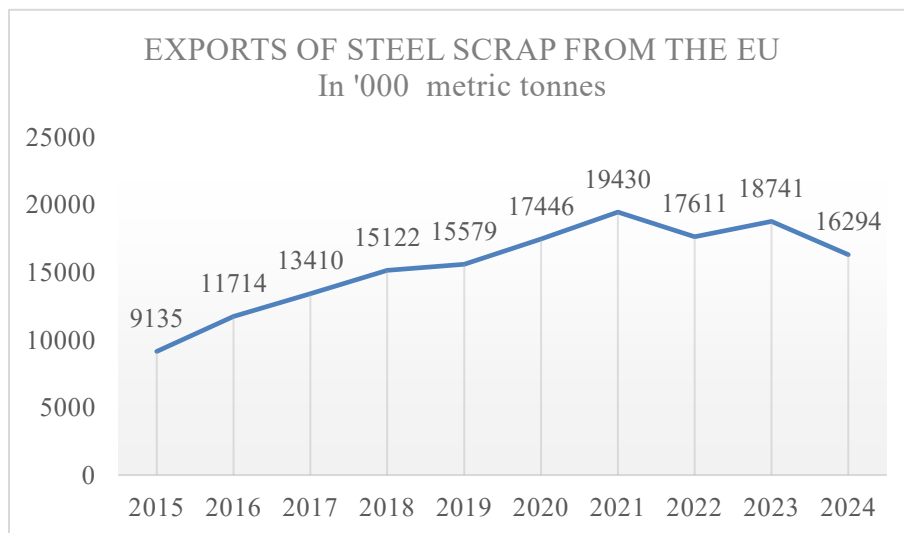


Figura 1.1.1 - Export of steel scrap from the EU

Nonostante l'Unione Europea sia tra i maggiori produttori mondiali di rottame ferroso, registra anche volumi consistenti di importazione (Tabella 1.1.2 e Figura 1.1.2). Tale fenomeno è dovuto a una serie di fattori, tra cui la non uniformità geografica tra i centri di produzione e quelli di consumo, le esigenze qualitative di alcune filiere metallurgiche e la competitività economica delle forniture provenienti da Paesi extra-UE. In particolare, rottami ad alta purezza provenienti da Stati Uniti, Regno Unito o Svizzera risultano spesso preferibili per garantire l'efficienza dei processi industriali, anche a fronte di un costo superiore.

Anno	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Import ['000 metric tonnes]	5244	4467	4918	4550	4268	4122	5522	3951	3892	4741

Tabella 1.1.2 - Imports of steel scrap from the EU

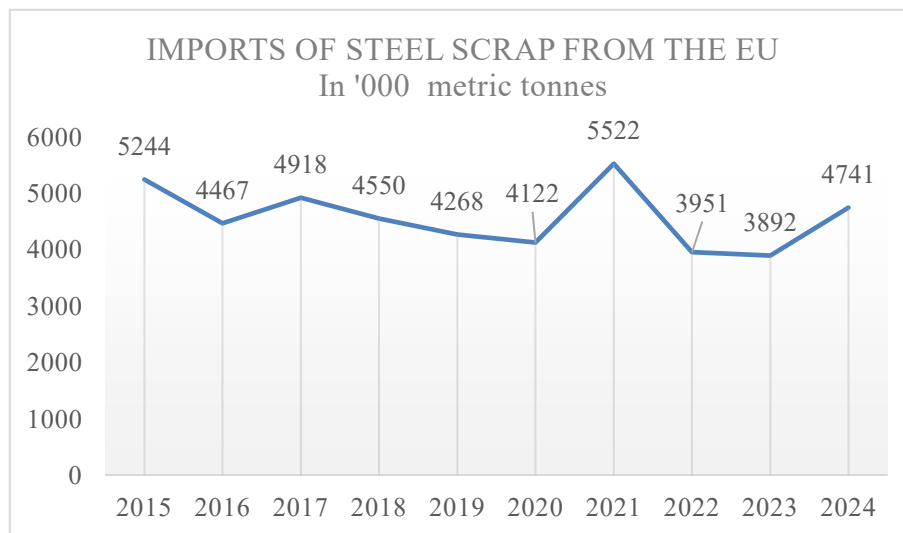


Figura 1.1.2 - Imports of steel scrap from the EU

Questa interdipendenza conferma come il rottame non vada più considerato un semplice sottoprodotto del consumo industriale, ma una materia prima strategica oggetto di scambi internazionali, sottoposta a logiche di mercato simili a quelle dei metalli primari.

L'alluminio è considerato un materiale critico e strategico per la transizione energetica e digitale. La sua produzione da rottame consente un risparmio energetico fino al 95% rispetto alla via primaria. Nel 2024, l'UE ha esportato circa 1,2 milioni di tonnellate [Mt] di rottame di alluminio, mentre la disponibilità interna resta inferiore alla domanda industriale. In Tabella 1.1.3 si riporta il bilancio del rottame di alluminio per l'anno 2024.

Voce	Quantità (Mt)	Note
Domanda totale di alluminio in UE	12	Include primario e secondario
Alluminio secondario utilizzato (da rottame)	4,8	Circa il 40% della domanda totale (interno + import)
Disponibilità interna di rottame	3,6	Quantità raccolta e trattata all'interno dell'UE
Importazioni di rottame	1,2	Integrano la carenza interna
Esportazioni di rottame	1,2	Circa 10% della disponibilità totale (criticità strategica)
Gap stimato rispetto alla domanda	~0,6	Potenziiale criticità futura se l'export non viene ridotto

Tabella 1.1.3 - Bilancio rottame alluminio (2024)

Negli ultimi anni, la rilevanza del rottame di alluminio ha assunto una dimensione esplicitamente strategica, non più riconducibile alla sola logica di mercato. In particolare, diversi osservatori industriali sottolineano che l'Europa, pur disponendo di sistemi avanzati di raccolta e selezione, rischia di “perdere” la propria base materiale per l'economia circolare a causa dell'aumento delle esportazioni di rottami verso Asia e Nord America. In un'analisi dedicata al tema, è stato evidenziato come l'espansione della capacità di fusione e raffinazione di alluminio secondario in Paesi terzi, unita a condizioni energetiche e industriali più favorevoli, possa trasformare i rottami europei in un input competitivo per produzioni extra-UE, con ricadute su investimenti e occupazione nella filiera europea del riciclo.³

In tale prospettiva, il rottame di alluminio non va interpretato soltanto come flusso residuale, ma come materia prima secondaria strategica la cui disponibilità condiziona la competitività industriale, la decarbonizzazione e la resilienza delle catene del valore europee. Questa impostazione, condivisa da associazioni industriali europee dei consumatori di alluminio, motiva l'attenzione crescente verso strumenti di governance

del rottame (classificazione, tracciabilità, capacità di sorting e misure commerciali) che saranno approfonditi nei capitoli successivi. ⁴

Anche il rame – essenziale per la decarbonizzazione e l’elettrificazione – presenta un’elevata riciclabilità. Studi recenti stimano che il riciclo potrebbe coprire oltre il 45% della domanda globale entro il 2040, con significativi benefici ambientali ed economici. ⁵

Infine, la ghisa – spesso trascurata nelle analisi – è fondamentale per la fonderia, e il suo recupero tramite rottami consente significativi risparmi in termini di CO₂ e consumo di minerali vergini. ⁶

1.2 Il riciclo come leva per la transizione ecologica e la sicurezza delle risorse

L'uso di rottami metallici come materia prima secondaria consente di:

- ridurre drasticamente le emissioni di CO₂ (es. -75% acciaio riciclato rispetto a via primaria – Tabella 1.2.1);
- diminuire il consumo di risorse naturali e la dipendenza da importazioni di minerali;
- accrescere la competitività industriale grazie a minori costi energetici e ambientali;
- contribuire agli obiettivi di economia circolare e resilienza strategica dell’UE.

Nel caso dell’alluminio, tali benefici assumono un peso particolare: la produzione secondaria riduce drasticamente energia ed emissioni rispetto alla via primaria e contribuisce agli obiettivi europei di decarbonizzazione. Tuttavia, la piena valorizzazione di questi vantaggi dipende dalla capacità dell’UE di trattenere, migliorare e riutilizzare i flussi di rottame internamente. In assenza di un adeguato “upgrade” qualitativo del rottame e di condizioni di mercato coerenti, l’esportazione di materia prima secondaria può tradursi in una perdita di valore aggiunto industriale e in

un aumento della dipendenza esterna per metallo (primario e secondario) necessario alle filiere europee.⁴

Metallo	Risparmio Energetico (%)	CO₂ Risparmiata (tonnellate per tonnellata riciclata)
Acciaio	60-75%	1,5
Alluminio	95%	9
Rame	85%	3
Ghisa	70%	1,2

Tabella 1.2.1 - Tassi di riciclo e risparmio energetico

Secondo dati recenti, circa il 56% dell'acciaio prodotto in Europa è già ottenuto da rottame (Tabella 1.2.2). Tuttavia, la domanda crescente da parte delle acciaierie elettriche (EAF) e la diffusione di settori green-intensivi (auto elettrica, rinnovabili, infrastrutture digitali) rendono necessario aumentare sia la quantità disponibile che la qualità del rottame utilizzato.

Regione	Rottame Utilizzato (Mt)	Quota sulla Produzione Totale (%)
Cina	210	22%
India	60	25%
UE27	77,8	56%
USA	60	70%
Resto del mondo	92	45%

Tabella 1.2.2 - Contributo del rottame alla produzione globale di acciaio

In questo scenario, il rottame metallico non è più un semplice "rifiuto da gestire", bensì una risorsa chiave e una commodity globale strategica. Per questo motivo, il suo mercato è sempre più al centro di tensioni geopolitiche, restrizioni commerciali e dibattiti normativi.

Capitolo 2 – Il mercato del rottame: quadro economico e normativo

2.1 Il rottame come risorsa strategica nel mercato globale

Il rottame metallico è ormai riconosciuto come una risorsa strategica e una vera e propria commodity globale. Il suo valore economico è determinato dalla crescente scarsità di materie prime vergini, dai vantaggi ambientali del riciclo e dalla spinta normativa verso l'economia circolare. Acciaio, alluminio e rame sono materiali particolarmente esposti alle dinamiche del commercio internazionale del rottame.

Nel 2023 l'Unione Europea ha esportato circa 20,1 milioni di tonnellate di rottame ferroso e importato circa 4 milioni di tonnellate, confermandosi un esportatore netto. Per l'alluminio, l'export è stato di circa 1,2 milioni di tonnellate, una quota significativa rispetto alla disponibilità interna.⁷

Questi flussi evidenziano una criticità crescente: il rottame europeo, raccolto e selezionato secondo standard ambientali elevati, alimenta produzioni extra-UE spesso meno sostenibili e, soprattutto, sottrae all'industria europea una risorsa necessaria per la transizione. Nel caso dell'alluminio, l'aumento delle esportazioni è stato ricondotto a dinamiche di domanda e prezzo in Asia e Nord America, dove si è ampliata la capacità di produzione di alluminio secondario. In ambito industriale è stato evidenziato che l'Europa, avendo già ridotto parte della propria capacità di produzione primaria, rischia ora di compromettere anche la disponibilità di rottami, con impatti su riciclo, investimenti e occupazione. Parallelamente, il prezzo del rottame è soggetto a elevata volatilità, influenzato da domanda industriale globale, costi energetici e dinamiche geopolitiche. In questo contesto, le imprese europee chiedono strumenti per garantire l'accesso stabile e competitivo a materia prima secondaria.³

Parallelamente, la Federation of Aluminum Consumers in Europe (FACE) evidenzia come l'export extra-UE di rottami di alluminio sia cresciuto sensibilmente nel periodo recente (2019–2024) e che tale “leakage” debba essere affrontato trattando il rottame non solo come commodity, ma come risorsa strategica da assicurare e valorizzare nell'ecosistema industriale europeo.⁴

2.2 Le principali criticità economiche e industriali

Il settore del riciclo e del commercio del rottame si scontra con alcune barriere strutturali:

- **Qualità disomogenea del rottame**, spesso non conforme agli standard richiesti dagli impianti EAF o fonderie;
- **Insufficiente capacità di raccolta e selezione in alcuni Stati membri**;
- **Pressione concorrenziale da parte di Paesi terzi** che offrono prezzi più alti senza rispettare le stesse normative ambientali;
- **Dipendenza da importazioni per alcuni metalli**, come il rame e l'alluminio;
- **Rischi legati alla classificazione del materiale**, in particolare tra rifiuto e sottoprodotto, che influiscono su movimentazioni e costi.

A tali barriere si aggiunge una distinzione rilevante per l'alluminio: una quota significativa dei volumi esportati è costituita da rottame post-consumo a bassa qualità, per il quale in Europa esiste spesso un mercato debole a causa di limiti tecnologici di selezione e di difficoltà nel separare efficacemente leghe e contaminanti. In altri termini, parte della “scarsità” percepita può essere spiegata anche da un vincolo tecnologico e infrastrutturale, più che da una carenza assoluta di materiale raccolto. Da qui la centralità delle politiche di investimento in impianti di sorting avanzato e tracciabilità, oltre che della revisione di strumenti normativi che oggi non distinguono adeguatamente qualità e destinazioni d'uso del rottame. ⁴

Queste criticità compromettono non solo la competitività della filiera europea, ma anche gli obiettivi ambientali dell'UE, rendendo urgente una governance più efficace del mercato del rottame.

2.3 Evoluzione normativa e politiche europee

A livello normativo, l'UE ha avviato negli ultimi anni un processo di riforma volto a rafforzare il controllo sul commercio del rottame e incentivare il riciclo interno. Tra le misure più rilevanti:

- **Revisione del Regolamento sulle spedizioni transfrontaliere di rifiuti (WSR)**, che introduce restrizioni all'export di rifiuti metallici verso Paesi non OCSE, salvo garanzie di trattamento equivalente a quello europeo.
- **Piano d'Azione per l'Economia Circolare**, che promuove l'uso di materia prima secondaria e l'efficienza delle risorse.
- **Critical Raw Materials Act (2023)**, che include alluminio e rame tra le materie prime strategiche e incoraggia il recupero interno.
- **Linee guida sull'End of Waste**, che mirano a uniformare i criteri per classificare il rottame come prodotto e non più come rifiuto.

Nel caso dell'alluminio, un ulteriore elemento critico riguarda la governance commerciale del rottame. La Federazione dei Consumatori di Alluminio in Europa (FACE) segnala che la regolazione delle esportazioni è un tema divisivo tra stakeholder: da un lato alcuni attori industriali sostengono misure per contenere l'export e garantire disponibilità interna; dall'altro, associazioni del riciclo e del commercio temono distorsioni di mercato e impatti negativi su raccolta e redditività degli operatori. In questa prospettiva, viene proposta una soluzione di compromesso basata su un approccio limitato e time-bound, combinando eventuali misure commerciali mirate (sui flussi di maggiore valore strategico) con riforme su classificazione, semplificazione amministrativa e investimenti in capacità di trattamento.

Questi strumenti puntano a creare un “mercato interno del riciclo” più robusto, trasparente e sicuro. Tuttavia, l'attuazione a livello nazionale resta disomogenea e spesso rallentata da ostacoli burocratici.⁸

Le implicazioni concrete di tali dinamiche risultano particolarmente evidenti nel caso dell'alluminio, che rappresenta un esempio paradigmatico di interazione tra regolazione, mercato del rottame e capacità tecnologica di riciclo.

2.3.1 Il caso dell'alluminio: export di rottami, governance e implicazioni industriali

Il mercato del rottame di alluminio costituisce un caso emblematico delle tensioni che attraversano oggi la governance europea delle materie prime secondarie. Pur essendo l'alluminio riconosciuto come materiale critico per la transizione energetica e digitale, una parte significativa dei rottami raccolti nell'Unione Europea continua a essere esportata verso Paesi terzi, riducendo la disponibilità di feedstock per l'industria del riciclo e della trasformazione interna.

Nel periodo 2019–2024, le esportazioni europee di rottame di alluminio sono cresciute in modo significativo, raggiungendo circa 1,2 milioni di tonnellate annue. Secondo analisi di settore, circa l'80% di tali flussi è costituito da rottame post-consumo di qualità medio-bassa, mentre la quota restante – numericamente inferiore ma strategicamente più rilevante – comprende rottami ad alta purezza e leghe selezionate, fondamentali per la produzione di semilavorati e leghe secondarie di qualità. È proprio su questa frazione che si concentrano le maggiori criticità in termini di sicurezza dell'approvvigionamento e competitività industriale.

Un elemento determinante è rappresentato dal contesto internazionale. L'espansione della capacità di riciclo dell'alluminio in Nord America e in Asia, sostenuta da costi energetici inferiori e da regimi regolatori meno stringenti, ha aumentato l'attrattiva del rottame europeo sui mercati globali. In particolare, la dinamica dei prezzi negli Stati Uniti – dove il rottame di alluminio è escluso da specifiche misure tariffarie – può incentivare un drenaggio dei flussi europei verso operatori extra-UE disposti a riconoscere premi elevati. Tale fenomeno è stato richiamato anche nel dibattito pubblico come un rischio di perdita di valore industriale e occupazionale per la filiera europea.

Dal punto di vista industriale, FACE sottolinea come la questione dell'export non possa essere affrontata esclusivamente con strumenti restrittivi generalizzati. Una parte della scarsità percepita di rottame di alluminio deriva infatti da limiti tecnologici e infrastrutturali nella capacità di selezione e upgrading del materiale raccolto. L'assenza di sistemi di sorting avanzato in grado di trattare efficacemente grandi volumi di rottame post-consumo a bassa qualità riduce la quota di materiale effettivamente utilizzabile in processi ad alto valore aggiunto, contribuendo indirettamente alla sua esportazione.

In questo contesto, le proposte di policy avanzate a livello europeo convergono su un approccio integrato: da un lato, il miglioramento dei sistemi di classificazione e tracciabilità del rottame, affinché la qualità e la destinazione d'uso siano meglio riflesse negli strumenti normativi e doganali; dall'altro, il sostegno a investimenti in tecnologie di selezione avanzata e in infrastrutture di riciclo, in particolare per il rottame post-consumo. Solo in modo complementare, e in un quadro temporaneo e mirato, possono essere valutate misure commerciali volte a evitare la perdita di frazioni di rottame strategiche per l'industria europea.

Il caso dell'alluminio mostra quindi come la sicurezza delle risorse, la decarbonizzazione industriale e la competitività del riciclo non dipendano unicamente dalla quantità di rottame raccolto, ma dalla capacità del sistema europeo di qualificarlo, trattenerlo e valorizzarlo all'interno delle proprie catene del valore. Tale prospettiva costituisce un riferimento centrale per l'analisi della classificazione e della qualità del rottame sviluppata nel Capitolo 3, nonché per la discussione sulle tecnologie di sorting e sulle barriere operative affrontate nel Capitolo 4.

2.4 Prospettive future

Nel medio termine, il mercato del rottame è destinato a crescere in volume e centralità strategica. Le previsioni indicano un forte aumento della domanda di rottami di alta qualità per sostenere la decarbonizzazione industriale. Ciò richiederà:

- Investimenti in impianti di raccolta e trattamento avanzati;

- Sistemi di tracciabilità e certificazione della qualità del rottame;
- Regole armonizzate a livello UE per evitare distorsioni di mercato;
- Cooperazione tra industria, autorità pubbliche e mondo della ricerca.

9,10

Per l'alluminio, la traiettoria futura dipenderà in misura crescente dalla capacità dell'UE di evitare l'uscita dei rottami "di qualità" verso mercati disposti a pagare premi elevati e dotati di forte capacità di trasformazione. Analisi recenti sottolineano che l'export record di rottami verso Asia e Stati Uniti può ridurre la disponibilità di feedstock per gli impianti europei, compromettendo la competitività della filiera del riciclo proprio nel momento in cui la domanda di metallo a bassa impronta carbonica cresce. In tale scenario, misure di tracciabilità e upgrade tecnologico (sorting sensoriale, identificazione di lega, automazione) diventano condizioni abilitanti per trasformare il rottame da flusso residuale a leva industriale.^{3,4}

Capitolo 3 – Classificazione e qualità del rottame metallico

La classificazione e la qualità del rottame metallico rappresentano aspetti fondamentali per garantire l'efficienza e la sostenibilità del processo di riciclo. In un contesto di crescente attenzione verso l'economia circolare, è essenziale disporre di criteri tecnici e normativi condivisi che consentano di distinguere le diverse tipologie di rottame e valutarne l'idoneità al reimpiego in processi metallurgici. Questo capitolo analizza in modo sistematico le principali tipologie di rottame metallico, i criteri di qualità richiesti dall'industria e il quadro normativo che regola la classificazione dei materiali ferrosi e non ferrosi.

3.1 Principali tipologie di rottame metallico

Il rottame metallico può essere suddiviso in due grandi categorie: rottami ferrosi e rottami non ferrosi. I primi comprendono materiali a base di ferro e sue leghe (tra cui acciaio e ghisa), mentre i secondi includono metalli come alluminio, rame, ottone e loro leghe. Ogni metallo si presenta sotto diverse forme e qualità, influenzate dalla provenienza, dallo stato fisico, dal grado di contaminazione e dalla composizione chimica.

3.2 Classificazione merceologica e qualità dei rottami

A livello industriale, la classificazione dei rottami segue specifiche tecniche che definiscono le caratteristiche fisiche (es. pezzatura, stato del materiale), chimiche (composizione, presenza di elementi in lega o contaminanti) e tecnologiche (resa in rifusione). Ad esempio, nel caso del rame, si distinguono rottami di prima fusione (ad alto titolo metallico) e rottami misti o contaminati. Analogamente, l'alluminio viene classificato in base alla forma (lattine, profilati, fusioni) e alla composizione (leghe primarie o secondarie).

Nel caso dell'alluminio, la classificazione assume un ruolo particolarmente critico perché coesistono sistemi con finalità diverse e livelli di dettaglio non omogenei: codici doganali (HS/CN) utili per statistiche e controlli commerciali ma spesso troppo aggregati; classificazioni "rifiuto" (EER/LoW) utili a fini amministrativi ma poco

correlate a purezza e composizione metallurgica; standard tecnici europei (es. UNI EN 13920) e specifiche industriali (es. ISRI) più granulari e vicine alle esigenze di rifusione e resa. Questa eterogeneità genera un disallineamento tra “come il materiale è etichettato” e “come può essere effettivamente riciclato”, ostacolando politiche mirate e aumentando oneri di conformità, soprattutto per le PMI. ⁴

La qualità del rottame è un parametro cruciale per l'efficienza dell'intero ciclo di riciclo. Un materiale pulito, ben selezionato e omogeneo:

- migliora il rendimento dei forni metallurgici,
- riduce il consumo energetico richiesto per la fusione,
- minimizza le emissioni in atmosfera,
- limita le perdite di metallo utile nel processo.

Al contrario, un rottame contaminato o mal classificato può compromettere seriamente la qualità del metallo secondario prodotto, aumentando i costi di trattamento, i tempi di lavorazione e le emissioni.

Tra i problemi più comuni che influenzano negativamente la qualità del rottame si segnalano:

- **Contaminazioni** con altri metalli (es. rame nei rottami ferrosi, stagno nel rame) o con materiali non metallici (plastiche, vetro, sabbia, gomma);
- **Ossidazione e impurità superficiali**, in particolare nei metalli leggeri come l'alluminio, che formano ossidi stabili durante l'esposizione all'aria o all'umidità;
- **Mancanza di uniformità nei lotti**, che genera risultati imprevedibili in fusione;
- **Errori di codifica o classificazione**, spesso dovuti a scarsa formazione degli operatori o mancanza di tecnologie di identificazione.

Questi fattori richiedono l'impiego di pratiche di selezione avanzate e controlli di qualità rigorosi, oltre a un quadro normativo e tecnico chiaro e aggiornato.

3.3 Normative europee e italiane sulla classificazione dei rottami

A livello normativo, la gestione e classificazione dei rottami metallici è disciplinata dalle norme sui rifiuti e da specifici regolamenti End-of-Waste. La Direttiva quadro 2008/98/CE ha introdotto il concetto di cessazione della qualifica di rifiuto e i criteri per stabilire quando un rifiuto può diventare un prodotto. In Italia, tale direttiva è stata recepita nel D.Lgs. 152/2006 (Testo Unico Ambientale).¹¹

Il Regolamento (UE) n. 333/2011 stabilisce i criteri per rottami di ferro, acciaio e alluminio, mentre il Regolamento (UE) n. 715/2013 estende tali principi ai rottami di rame e sue leghe. Questi regolamenti impongono il rispetto di determinati requisiti tecnici e l'adozione di un sistema di gestione della qualità affinché i rottami possano cessare di essere qualificati come rifiuti e circolare come materie prime secondarie. Tali requisiti includono la verifica della provenienza del materiale, l'assenza di contaminanti pericolosi e la tracciabilità del processo di recupero.

Sul piano applicativo, tuttavia, la frammentazione delle procedure autorizzative e documentali tra Stati membri può creare costi e incertezze operative lungo la catena di raccolta-selezione-trattamento. In particolare, è stato osservato che l'attuale quadro regolatorio non differenzia sempre in modo proporzionato tra operazioni a rischio diverso (ad esempio tra rottame pulito e rottame contaminato), con l'effetto di rallentare investimenti e innovazione nelle infrastrutture di riciclo e sorting.⁴

3.4 Codici EER e classificazione amministrativa

La classificazione ufficiale dei rottami metallici come rifiuti è affidata ai codici dell'Elenco Europeo dei Rifiuti (EER), a sei cifre, che ne identificano la provenienza e la natura. I codici più rilevanti per i metalli sono:

- 17 04 05 – Rottami di ferro e acciaio
- 17 04 01 – Rame, bronzo e ottone

- 17 04 02 – Alluminio
- 17 04 07 – Metalli misti

Codici specifici sono previsti anche per rottami da lavorazioni meccaniche (es. 12 01 01 per limatura e trucioli di ferro) e da veicoli fuori uso (16 01 17). È essenziale l'assegnazione corretta del codice EER per garantire la tracciabilità e la corretta gestione del rottame nel rispetto della normativa ambientale.

3.5 Norme ISO e UNI per la qualità del rottame

Oltre ai criteri ambientali, il settore fa riferimento a norme tecniche per garantire la qualità del materiale recuperato. Tra le principali:

- **UNI EN 12861:** per rottami di rame e leghe, definisce categorie merceologiche in base alla purezza e alla forma.
- **UNI EN 13920:** per rottami di alluminio, suddivisa in parti che riguardano lattine, profilati, fusioni e scarti misti.
- **UNI EN 14057:** per il piombo e le sue leghe (non trattato in dettaglio in questa tesi).
- **UNI EN 14290:** per lo zinco e leghe (non trattato in dettaglio).
- **UNI EN 10020 e UNI EN 10025:** per materiali ferrosi, offrono una classificazione generale degli acciai e specifiche per i prodotti laminati a caldo, contribuendo all'identificazione del rottame di qualità destinato alla rifusione.
- **ISO 449:2016:** "Ferrous scrap — Classification" definisce categorie di rottami ferrosi secondo criteri internazionali, con indicazioni su forma, dimensioni e grado di contaminazione.

Nel caso specifico dei rottami ferrosi (ferro e acciaio), la qualità viene comunemente valutata in base al tenore di ferro metallico, alla presenza di elementi residui (quali rame, stagno e fosforo) e alla resistenza alla frantumazione. Questi criteri sono

generalmente incorporati nelle specifiche tecniche di settore e, in alcuni contesti nazionali, anche in linee guida sviluppate da associazioni di categoria o organismi normativi. Inoltre, molte imprese del comparto applicano volontariamente certificazioni ISO 9001 (gestione della qualità) e ISO 14001 (gestione ambientale) per assicurare un monitoraggio costante delle caratteristiche del rottame trattato. Le norme ISO/UNI, quindi, costituiscono uno strumento tecnico oggettivo essenziale per la definizione della qualità del rottame, in parallelo ai codici EER che ne regolano l'aspetto amministrativo.

3.6 Standard industriali e codifiche pratiche (EuRIC, EFR)

Nel commercio del rottame metallico, oltre ai sistemi normativi ufficiali, sono ampiamente utilizzate codifiche industriali e operative sviluppate storicamente dal settore per facilitare gli scambi commerciali e garantire una comunicazione chiara tra operatori, acciaierie e fonderie. A livello europeo, tali pratiche si sono consolidate nel tempo attraverso il lavoro di organizzazioni di categoria come l'ex EFR (European Ferrous Recovery & Recycling Federation), oggi confluita in EuRIC (European Recycling Industries' Confederation).

Nel caso dei rottami ferrosi, sono tuttora diffuse classificazioni operative di origine storica (derivate da prassi EFR, norme UNI e usi di mercato), che distinguono il materiale in base a forma, pezzatura e grado di contaminazione. Tra le categorie comunemente utilizzate si possono citare, a titolo esemplificativo:

- **E1:** lamiera leggera selezionata, generalmente priva di contaminanti;
- **E3:** rottame pesante da demolizione;
- **E40:** rottame frantumato (*shredded*).

Tali codifiche, pur non costituendo standard normativi vincolanti a livello europeo, rappresentano ancora oggi un linguaggio condiviso nel commercio del rottame ferroso e contribuiscono a ridurre l'incertezza nelle transazioni, assicurando una maggiore coerenza con i requisiti tecnici degli impianti siderurgici.⁹

Per i metalli non ferrosi, e in particolare per alluminio e rame, la classificazione commerciale fa invece riferimento in misura prevalente alle norme tecniche europee (serie EN), integrate da codifiche operative utilizzate dagli operatori e promosse nelle linee guida di settore. In ambito internazionale, assumono inoltre rilevanza le specifiche ISRI (Institute of Scrap Recycling Industries), ampiamente utilizzate come standard di fatto nel commercio globale, pur non avendo carattere giuridicamente vincolante nell'ordinamento europeo.

In questo quadro frammentato, alcune proposte industriali e istituzionali suggeriscono un progressivo avvicinamento tra sistemi normativi e pratiche di mercato, al fine di migliorare la trasparenza e l'efficienza del riciclo. In particolare, vengono indicate tre direttrici di intervento:

1. **aumentare la granularità dei codici doganali (CN)**, distinguendo in modo più chiaro tra rottami “puliti” e frazioni miste o contaminate;
2. **riconoscere in modo selettivo specifiche industriali consolidate** (come ISRI) in ambiti circoscritti, quali appalti pubblici, incentivi o sistemi di certificazione;
3. **introdurre meccanismi di tracciabilità e certificazione della qualità** (ad esempio “green scrap”), volti a valorizzare il rottame di maggiore qualità e a ridurre l'ambiguità regolatoria nelle movimentazioni.

Tali approcci mirano a colmare il divario tra classificazione amministrativa e realtà metallurgica, creando condizioni più favorevoli alla valorizzazione interna del rottame e alla competitività della filiera europea del riciclo.

Capitolo 4 – Approfondimento scientifico sul riciclo e classificazione dei rottami

Negli ultimi anni, la letteratura scientifica ha dedicato crescente attenzione alle problematiche legate al riciclo dei metalli, con particolare riguardo alla qualità del rottame, alle tecniche di classificazione e alle dinamiche di mercato che influenzano la disponibilità e il valore delle materie prime secondarie. Questo capitolo fornisce una sintesi dei principali contributi accademici internazionali sul tema, con l'obiettivo di delineare il contesto tecnico-scientifico in cui si inserisce la presente ricerca. L'analisi integra le fonti istituzionali e industriali già discusse nei capitoli precedenti con studi del settore.

4.1 Dinamiche economiche del mercato del rottame

La disponibilità e la valorizzazione del rottame metallico sono strettamente legate a fattori macroeconomici e geopolitici. Diversi studi hanno evidenziato come i mercati del rottame ferroso e non ferroso siano caratterizzati da una forte ciclicità, sensibili a variabili quali la domanda di acciaio e alluminio primario, le politiche commerciali e i costi energetici. In particolare, la crescente richiesta di metalli per la transizione energetica e digitale sta generando tensioni sull'offerta, rendendo il rottame una risorsa strategica.¹²

Alcune ricerche hanno anche approfondito la correlazione tra il contenuto di materiale riciclato nei prodotti finali e la disponibilità di rottame qualificato, sottolineando il ruolo delle politiche di raccolta e pretrattamento nella stabilizzazione del mercato.

4.2 Qualità del rottame e impatto sui processi

Dal punto di vista tecnologico, numerosi studi hanno confermato che la qualità del rottame è un fattore chiave per la resa metallurgica, l'efficienza energetica e la riduzione delle emissioni nei forni. Un elevato grado di purezza e uniformità consente di ridurre le necessità di raffinazione e i rischi di contaminazione del bagno fuso, migliorando la qualità finale del metallo prodotto.¹³

Inoltre, alcune ricerche hanno evidenziato come la standardizzazione dei criteri di qualità (es. contenuto di elementi residui, grado di ossidazione, granulometria) sia ancora parziale, con conseguenti incertezze nelle transazioni commerciali e difficoltà nella tracciabilità dei flussi.⁹

4.3 Tecnologie di classificazione e sorting

L'evoluzione tecnologica ha portato allo sviluppo di sistemi di selezione avanzata per migliorare la qualità del rottame. La letteratura più recente documenta l'impiego crescente di tecnologie come:

- **spettrometria LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy)** per la rilevazione rapida della composizione chimica;
- **sistemi ottici multispettro** per il riconoscimento di leghe leggere;
- **selezione magnetica e a correnti parassite** per la separazione dei metalli;
- **applicazioni di intelligenza artificiale** per l'identificazione automatica di forme e materiali.¹⁴

Nonostante i progressi, molte tecnologie restano economicamente onerose per impianti di piccola/media scala, evidenziando un gap applicativo che rappresenta uno dei principali ostacoli all'adozione diffusa di sistemi avanzati.

4.4 Barriere normative e operative

Oltre ai limiti tecnici, numerosi autori sottolineano l'esistenza di barriere normative e amministrative che ostacolano la circolazione efficiente del rottame di qualità. Tra queste, spiccano:

- l'eterogeneità dei criteri di classificazione tra Paesi europei;
- la complessità del quadro End-of-Waste e dei codici EER;
- l'assenza di incentivi per la selezione qualitativa a monte.¹⁵

Questi fattori comportano costi aggiuntivi per gli operatori e penalizzano la competitività delle materie prime secondarie rispetto ai metalli primari.

A livello di policy, la letteratura sulle barriere normative trova riscontro nelle posizioni industriali: la coesistenza di classificazioni troppo generiche per il commercio (HS/CN) e troppo complesse per l'operatività (EER/LoW + spedizioni rifiuti) rende difficile costruire incentivi mirati alla qualità e alla valorizzazione interna del rottame. Ne deriva che interventi efficaci richiedono una strategia integrata: semplificazione amministrativa, miglioramento della classificazione "orientata alla riciclabilità" e sostegno a investimenti in capacità di sorting e upgrading, evitando approcci unicamente restrittivi (es. divieti o dazi generalizzati) non accompagnati da sviluppo tecnologico.⁴

4.5 Posizionamento della presente ricerca

La presente tesi si colloca in un filone di studi applicati che mirano a migliorare la qualità del rottame attraverso l'analisi delle procedure operative e l'introduzione di strumenti a supporto della classificazione. A differenza di molte ricerche focalizzate sugli aspetti tecnologici o modellistici, il presente lavoro si propone di combinare un'analisi qualitativa sul campo (in collaborazione con un'azienda del settore) con la revisione critica delle normative e delle best practices. In questo modo si intende contribuire allo sviluppo di soluzioni operative che possano migliorare l'efficienza del sistema di riciclo.

Capitolo 5 – Obiettivi della ricerca e contesto applicativo

5.1 Obiettivo generale

Il presente lavoro di ricerca ha come obiettivo generale l'analisi e il miglioramento delle pratiche di classificazione dei rottami metallici, con particolare riferimento ai materiali ferrosi e non ferrosi (acciaio, alluminio e rame), al fine di incrementarne la qualità e l'idoneità ai processi metallurgici di rifusione.

L'attività è condotta in collaborazione con MG MAROSTICA GROUP S.p.A., azienda specializzata nel recupero e trattamento dei metalli, che rappresenta il contesto operativo nel quale saranno osservate, analizzate e ottimizzate le attività di classificazione.

5.2 Contesto applicativo

La collaborazione con MG MAROSTICA GROUP S.p.A. consente di analizzare in modo diretto un processo industriale reale, caratterizzato da una forte attenzione alla qualità del rottame e alla conformità normativa. L'azienda rappresenta un esempio significativo di impresa impegnata nella valorizzazione delle materie prime secondarie, in linea con i principi dell'economia circolare e della transizione ecologica promossa a livello europeo.

5.2.1 Presentazione dell'azienda partner: MG MAROSTICA GROUP S.p.A.

Fondata nel 1950, MG MAROSTICA GROUP S.p.A. è un operatore di riferimento nel recupero, trattamento e valorizzazione dei rifiuti metallici, con sede a Bressanvido (VI). L'azienda si distingue per un modello produttivo basato sull'economia circolare, trasformando gli scarti metallici in materie prime secondarie destinate principalmente ad acciaierie e fonderie. I materiali vengono trattati in impianti tecnologicamente avanzati che garantiscono tassi di recupero prossimi al 97%.

Lo stabilimento principale è autorizzato ai sensi del D.Lgs. 152/2006, art. 208 per il trattamento di rifiuti speciali non pericolosi fino a 36.000 tonnellate/anno. Le principali attività comprendono la selezione, la riduzione volumetrica e la valorizzazione dei

rottami ferrosi e non ferrosi, con particolare attenzione alla qualità merceologica e alla tracciabilità dei flussi.

Linee di attività e processo

L'operatività si articola su quattro linee principali:

1. Rottame ferroso – cernita, adeguamento volumetrico e pressatura;
2. Rottame metallico non ferroso – alluminio, rame e leghe, con selezione in lotti omogenei;
3. Rifiuti misti – metallo/plastica/legno, trattati con mulino a martelli e separazioni successive;
4. Bonifica dei veicoli fuori uso (VFU) – rimozione dei componenti pericolosi e recupero delle frazioni metalliche.

È inoltre presente una linea di messa in riserva funzionale alla gestione dei flussi e all'ottimizzazione logistica del materiale.

MG MAROSTICA GROUP S.p.A. opera con un sistema di gestione integrato conforme alle norme ISO 9001 (qualità) e ISO 14001 (ambiente), cui si è aggiunta la ISO 50001 (energia) nel 2023. Tali certificazioni assicurano il controllo continuo dei processi, la tracciabilità dei flussi e l'attenzione alla sostenibilità ambientale.

Una parte significativa dei materiali trattati viene commercializzata attraverso GIRO – Gruppo Italiano Rottami, consorzio di cui l'azienda è socio fondatore. Il consorzio coordina le forniture di rottame alle acciaierie e promuove standard comuni di qualità e sostenibilità, condividendo un codice etico e un sistema di gestione certificato.

Per la centralità delle fasi di selezione e classificazione – determinanti per la qualità finale del rottame e la competitività del riciclo – MG MAROSTICA GROUP S.p.A. rappresenta un caso di studio ideale per approfondire le procedure operative e sperimentare metodologie di miglioramento applicabili a scala industriale.

Un ulteriore elemento di interesse per la presente ricerca è rappresentato dalla nuova linea dedicata alla classificazione delle leghe di alluminio che l'azienda sta attualmente collaudando. Tale linea integra un macchinario basato sul principio della separazione per densità, in grado di distinguere le diverse leghe di alluminio in funzione delle loro caratteristiche fisiche. Questa tecnologia, ancora in fase di ottimizzazione, costituisce un investimento strategico per MG MAROSTICA GROUP S.p.A., che punta a rafforzare la propria specializzazione nella selezione fine dell'alluminio, considerato un segmento a elevato valore aggiunto nel mercato delle materie prime secondarie.

5.3 Analisi delle pratiche attuali di classificazione dei rottami presso MG Marostica Group S.p.A.

La classificazione dei rottami metallici rappresenta una fase cruciale del processo industriale di MG Marostica Group S.p.A., poiché condiziona in modo diretto la qualità delle materie prime secondarie ottenute e la loro idoneità alla rifusione. L'analisi condotta durante il sopralluogo presso l'azienda ha permesso di ricostruire con precisione il flusso operativo e di individuare le principali criticità e le aree di miglioramento. Le informazioni riportate in questa sezione derivano dall'intervista al dottor Giovanni Marostica, titolare dell'azienda e dalla verifica diretta dei processi.

5.3.1 Percorso operativo del rottame: dall'ingresso alla classificazione

Il percorso del materiale ha inizio con la fase di accettazione, dove l'addetto incaricato effettua un controllo visivo preliminare e verifica la corrispondenza del lotto con quanto riportato nel documento di trasporto: fornitore, quantità, tipologia di rottame ordinato e destinazione prevista. In questa fase vengono rimossi, quando presenti, gli inquinanti macroscopici più evidenti.

Se conforme, il materiale segue due possibili destinazioni:

1. **Commercializzazione diretta**, senza ulteriori lavorazioni;
2. **Avvio alle linee interne di lavorazione**, quando è necessario migliorarne la qualità o ridurre il volume.

Le lavorazioni tipiche includono:

- **frantumazione o pressatura**, finalizzate alla riduzione volumetrica;
- **selezione e cernita** per eliminare materiali estranei e migliorare l'omogeneità della lega.

Ogni lotto è accompagnato da una scheda di lavorazione, compilata in modo progressivo dagli operatori, che documenta gli step produttivi e la composizione riscontrata.

La classificazione finale precede la spedizione alle acciaierie o fonderie. Attualmente il controllo qualità in uscita viene eseguito su base campionaria; l'azienda ha espresso l'esigenza di introdurre checklist sistematiche e una figura dedicata alla qualità di processo.

Il flusso operativo complessivo del rottame metallico presso MG Marostica Group S.p.A., dalla fase di accettazione fino alla classificazione finale e alla spedizione, è schematizzato in Figura 5.3.1, che riassume le principali fasi del processo osservato durante il sopralluogo.

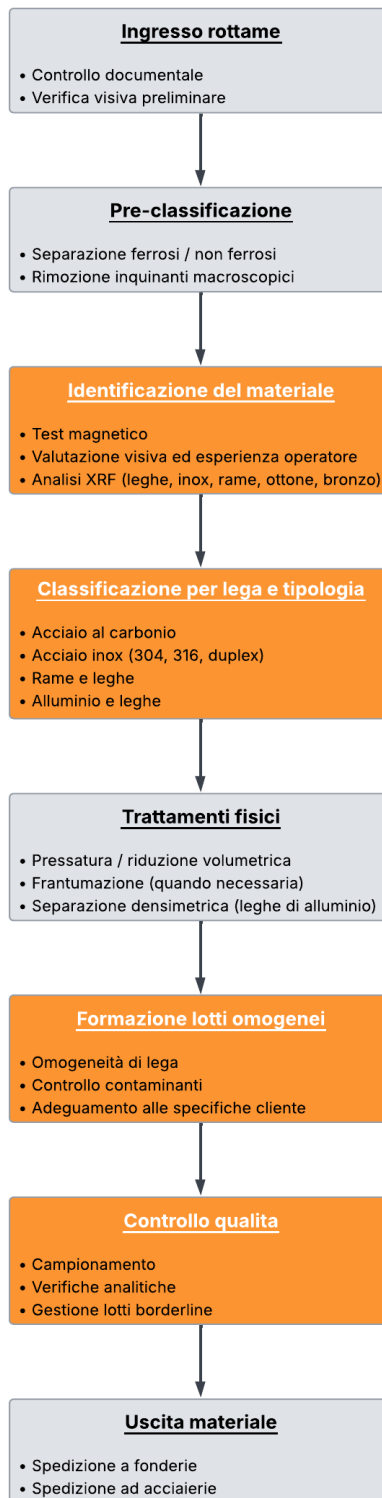


Figura 5.3 - Flusso operativo di gestione presso MG Marostica Group S.p.A.

Come evidenziato nello schema, il processo di classificazione del rottame si basa su una sequenza di decisioni operative che determinano la destinazione del materiale, distinguendo tra commercializzazione diretta e avvio alle linee di lavorazione interne. La qualità del rottame in uscita dipende in modo significativo dall'efficacia delle fasi di selezione e dalla corretta identificazione delle leghe, che rappresentano elementi centrali per l'idoneità alla rifusione e per la competitività dell'azienda.

5.3.2 Strumenti e criteri di identificazione dei materiali

La classificazione si basa su una combinazione di valutazioni visive, prove fisiche e strumenti analitici.

Gli strumenti maggiormente utilizzati sono:

- **Magnete**, per distinguere ferrosi e non ferrosi;
- **Analizzatore XRF**, impiegato quotidianamente per identificare la composizione delle leghe, in particolare inox, ottone e bronzo;
- **Test di umidità**, soprattutto per triturati e frazioni leggere, poiché le raffinerie applicano penalità economiche per umidità eccessiva;
- **Prove di fusione e analisi al quantometro**, utilizzate per le leghe critiche di rame e alluminio attraverso la preparazione di pastiglie campione.

Il criterio principale di classificazione è la tipologia di lega, individuata inizialmente tramite analisi rapida (magnete, osservazione della forma, densità apparente) e successivamente confermata con analisi XRF o quantometriche nei casi dubbi.

Il riferimento normativo principale per il rottame ferroso è la codifica CECA, mentre per il rottame non ferroso si utilizzano classificazioni internazionali riconosciute dal mercato.

5.3.3 Rottami di acciaio al carbonio

La classificazione dell'acciaio al carbonio è strettamente legata al processo produttivo da cui il materiale deriva. La distinzione operativa tra lamierino, carpenteria leggera,

carpenteria pesante e spezzoni viene effettuata principalmente sulla base della forma, dello spessore e della destinazione d'uso prevista dal cliente finale.

Il contaminante più critico è rappresentato dal rame, che può essere presente sia come metallo separato (conduttori, componenti elettrici) sia come residuo in leghe o avvolgimenti. Anche manganese e silicio possono influenzare la qualità metallurgica a seconda delle specifiche richieste dall'acciaieria. I materiali zincati, al contrario, non sono considerati critici poiché assimilabili a superfici verniciate.

L'azienda ha evidenziato la necessità di definire specifiche tecniche più dettagliate per i rottami ferrosi, includendo spessore, pezzatura massima e caratteristiche superficiali.

5.3.4 Rottami di acciaio inossidabile

Per gli acciai inossidabili, il test magnetico costituisce il primo livello di identificazione, consentendo la distinzione tra acciai ferritici e austenitici. L'analisi XRF è utilizzata in modo sistematico per la distinzione tra AISI 304 e AISI 316 e per identificare leghe più complesse.

La criticità maggiore riguarda gli acciai duplex e super duplex, per i quali la sola analisi XRF non è sempre sufficiente e richiede un'interpretazione esperta dei valori di cromo, nichel e molibdeno. I contaminanti più frequenti sono i pezzi di acciaio al carbonio confusi con l'inox.

L'azienda ha già predisposto una guida visiva interna per facilitare la classificazione, attualmente in fase di implementazione. La formazione degli operatori è considerata un aspetto essenziale.

5.3.5 Rottami di rame e leghe di rame

MG Marostica Group tratta un'ampia gamma di rottami di rame: rame elettrolitico, rame da raccolta, tubo/lastra, ottone misto e bronzo in misura minore. La distinzione tra ottone e bronzo avviene tramite analisi XRF, basata sulla presenza di zinco (ottone) o stagno (bronzo).

Le principali criticità riguardano:

- **ossidazione** dei materiali da raccolta;
- presenza di **ottone e bronzo come contaminanti**;
- contaminazioni da **acciaio e alluminio** nei lotti di ottone;
- difficoltà nel mantenere lotti realmente omogenei.

La pre-pulizia risulta difficilmente applicabile su larga scala, mentre risulta utile mantenere in sospeso i lotti dubbi ed effettuare analisi più approfondite successivamente.

5.3.6 Rottami di alluminio e leghe di alluminio

La classificazione dell'alluminio richiede un'elevata competenza pratica. Gli operatori distinguono le diverse tipologie di lega principalmente in base alla forma originale, alla finitura superficiale, alla densità percepita, al suono in caduta (indicatore interessante fornito dal responsabile) e alla granulometria della frattura.

Le leghe più difficili da distinguere sono:

- **leghe Al-Mg** (serie 5xxx)
- **leghe Al-Si** (serie 4xxx e 3xx)

Le contaminazioni più frequenti sono pezzi con plastiche o inserti incollati, difficili da rimuovere totalmente.

La nuova linea densimetrica introdotta dall'azienda consente la separazione in tre classi (leggerissime, medie, pesanti) e rappresenta un importante passo avanti nella qualità del materiale in uscita. L'impianto funziona correttamente per circa il 95% dei casi, pur necessitando di ottimizzazioni su carico e scarico.

L'azienda manifesta interesse verso tecnologie avanzate come sistemi LIBS automatici o macchine a fluorescenza multispot di tipo industriale (Steinert, SpectroMax), da valutare nel medio periodo.

5.4 Criticità emerse e possibili direzioni di miglioramento

L'analisi condotta presso MG Marostica Group S.p.A. ha evidenziato alcune criticità strutturali nelle attuali pratiche di classificazione e controllo qualità dei rottami metallici. Sebbene l'azienda operi con elevati standard di selezione e disponga di un set moderno di tecnologie (XRF, densimetria, separatori magnetici), alcune aree risultano suscettibili di miglioramento, soprattutto in un'ottica di maggiore tracciabilità, sistematicità e riduzione del rischio di contestazioni da parte dei clienti finali.

La prima criticità riguarda la dipendenza dall'esperienza individuale degli operatori, soprattutto per la classificazione delle leghe di alluminio e delle leghe inox complesse (duplex e super duplex). Molte decisioni tecniche – come la distinzione tra serie 5xxx e 6xxx o la valutazione qualitativa di un lotto composito – sono legate a competenze tacite consolidate sul campo, ma difficili da trasferire a nuovi addetti. Ciò espone l'azienda a potenziali errori di codifica o a una variabilità nelle performance del processo.

Un secondo elemento critico è la mancanza di un sistema organico di controllo qualità in uscita. Attualmente i controlli sono svolti in modo estemporaneo o sulla base dell'esperienza degli operatori, senza una cadenza definita o una procedura formalizzata. L'assenza di checklist periodiche può portare a discrepanze tra lotti simili e rende più complessa la gestione delle eventuali contestazioni da parte di acciaierie o fonderie.

Un'altra criticità significativa emersa riguarda la difficoltà nel mantenere lotti omogenei quando il materiale in ingresso presenta forte eterogeneità (es. ottone misto con contaminazioni da acciaio/alluminio, alluminio con inserti plastici non rimovibili, rame ossidato da raccolta). In questi casi, l'esperienza dell'operatore permette una

prima suddivisione visiva, ma si renderebbero necessari strumenti più avanzati per garantire una caratterizzazione chimico-fisica più affidabile.

Il titolare dell'azienda ha inoltre evidenziato l'esigenza di potenziare la capacità analitica interna, introducendo ad esempio un piccolo forno pilota (15–20 kg) per la creazione di campioni fusi rappresentativi dei lotti in uscita. Ciò permetterebbe un controllo chimico più accurato tramite quantometro, con conseguente riduzione di contestazioni e maggiore affidabilità dei certificati di qualità.

Infine, è stata riscontrata la necessità di migliorare la standardizzazione delle procedure: molte informazioni tecniche sono attualmente note agli operatori più esperti ma non formalizzate in documenti organici (ad esempio: guide visive per inox e leghe di alluminio, specifiche tecniche interne per la classificazione dei ferrosi, criteri univoci per la gestione dei materiali borderline). La formalizzazione di tali conoscenze contribuirebbe a migliorare la ripetibilità del processo e la qualità complessiva del prodotto finale.

Capitolo 6 – Analisi del ciclo di fine vita di un veicolo: visita presso l'impianto Veneta Ecorecuperi

6.1 Introduzione

Il presente capitolo analizza in modo sistematico il ciclo di trattamento dei veicoli fuori uso (VFU) attraverso l'osservazione diretta delle attività svolte presso l'impianto Veneta Ecorecuperi, sito in provincia di Venezia. La visita ha avuto l'obiettivo di comprendere in che modo vengano applicate operativamente le procedure previste dalla normativa europea e italiana, e quali siano le dinamiche tecniche e gestionali che caratterizzano la gestione del fine vita di un veicolo.

L'analisi è articolata nelle principali fasi di trattamento: registrazione, messa in sicurezza, recupero dei componenti, preparazione alla frantumazione e raffinazione dei materiali. Prima di descrivere il processo operativo, si presenta il quadro normativo che disciplina il settore.

6.2 Quadro normativo di riferimento

6.2.1 Direttiva 2000/53/CE – "End-of-Life Vehicles Directive"

La Direttiva 2000/53/CE costituisce il riferimento normativo europeo sulla gestione dei veicoli fuori uso. Essa mira a prevenire la produzione di rifiuti derivanti dai veicoli e a promuovere il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero dei materiali.

I suoi obiettivi principali sono:

- prevenire la produzione di rifiuti derivanti dai veicoli;
- favorire riutilizzo, riciclaggio e recupero dei materiali;
- ridurre l'uso di sostanze pericolose nei veicoli (piombo, mercurio, cadmio, cromo VI, salvo specifiche deroghe);
- imporre ai costruttori l'adozione di principi di eco-design.

La Direttiva introduce inoltre il principio di **Responsabilità Estesa del Produttore (EPR)**, secondo cui il costruttore deve organizzare o finanziare una rete di centri di raccolta per i veicoli a fine vita.

6.2.2 Decreto Legislativo 24 giugno 2003, n. 209

Il D.Lgs. 209/2003 recepisce la Direttiva 2000/53/CE in Italia e disciplina gli obblighi dei produttori, i requisiti degli impianti di trattamento e le procedure di messa in sicurezza.

6.2.3 Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – "Testo Unico Ambientale"

Il Testo Unico definisce la gestione dei rifiuti, i codici CER, i principi gerarchici e le normative riguardanti la gestione delle acque potenzialmente contaminate.

La normativa stabilisce che i liquidi derivanti dalle attività di autodemolizione, nonché le acque meteoriche di dilavamento delle aree esterne, debbano essere convogliate in vasche di raccolta e trattamento, per evitare infiltrazioni nel suolo e contaminazioni ambientali.

6.3 Processo operativo di gestione del veicolo fuori uso

Il processo operativo adottato negli impianti autorizzati per la gestione dei veicoli fuori uso segue una sequenza di fasi tecniche e amministrative definite dalla normativa europea e nazionale, finalizzate a garantire la sicurezza degli operatori, la tutela ambientale e il massimo recupero possibile di materiali e componenti. Quanto osservato presso l'impianto Veneta Ecorecuperi risulta pienamente coerente con tale modello procedurale, che prevede una progressione ordinata delle attività dalla presa in carico del veicolo fino alla destinazione finale delle diverse frazioni recuperate.

L'analisi del processo ha evidenziato come la gestione del veicolo fuori uso non possa essere ricondotta a una singola operazione di trattamento, ma debba essere interpretata come un processo industriale complesso, articolato in più fasi interdipendenti. In particolare, assumono un ruolo centrale le attività di messa in sicurezza iniziale, il recupero selettivo dei componenti riutilizzabili e la successiva valorizzazione materica della carcassa residua, che insieme determinano l'efficienza tecnica ed economica complessiva del sistema.

Il flusso operativo complessivo osservato presso Veneta Ecorecuperi è riassunto nello schema riportato in **Figura 6.3.1**, che sintetizza le principali fasi del ciclo di trattamento del veicolo fuori uso, dalla registrazione iniziale fino al recupero e alla destinazione finale dei materiali.

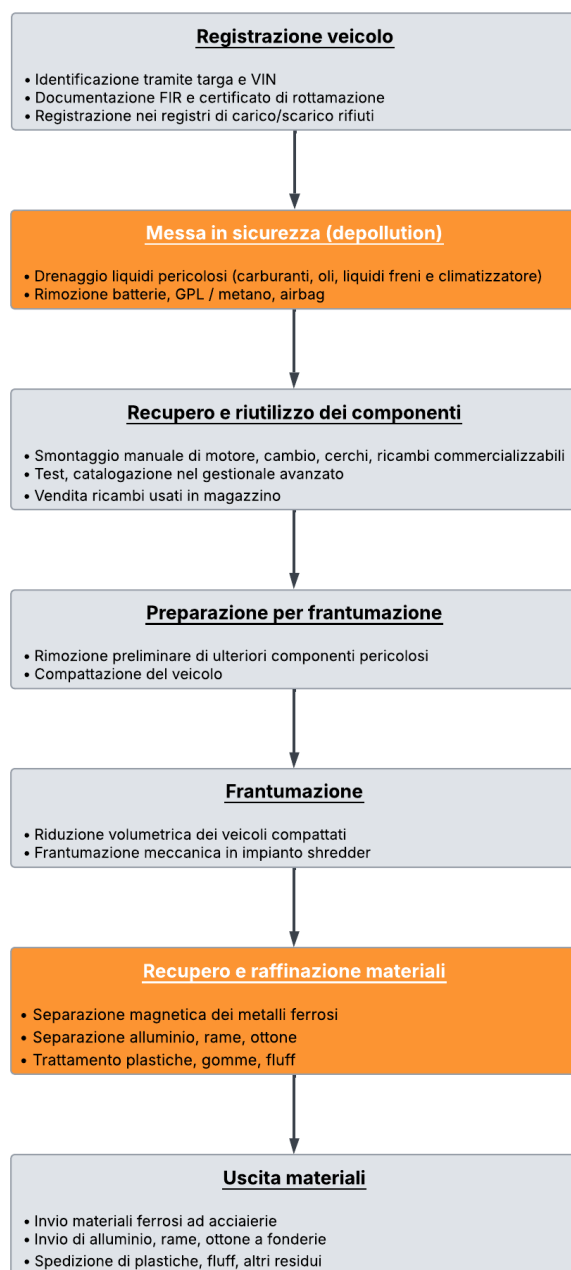


Figura 6.3.1 – Flusso operativo presso Veneta Ecorecuperi

Come evidenziato nello schema, il processo di gestione del veicolo fuori uso si sviluppa secondo una logica sequenziale che alterna fasi a prevalente contenuto amministrativo a fasi tecniche ad elevata complessità operativa. La corretta esecuzione delle attività

iniziali di registrazione e messa in sicurezza rappresenta una condizione imprescindibile per l'avvio delle successive operazioni di smontaggio, recupero e riciclo, garantendo la conformità normativa e la riduzione dei rischi per gli operatori.

Dallo schema emerge inoltre come il recupero e il riutilizzo dei componenti costituiscano una fase strategica del processo, non solo in termini di economia circolare, ma anche sotto il profilo della sostenibilità economica dell'impianto. La capacità di intercettare componenti ad alto valore, quali motori, cambi, sistemi elettronici e catalizzatori, consente infatti di massimizzare il valore estratto dal veicolo prima dell'avvio delle fasi di frantumazione e separazione dei materiali.

Sulla base di questa visione d'insieme, i paragrafi successivi analizzano in modo dettagliato ciascuna fase del processo operativo, approfondendo gli aspetti tecnici, normativi e gestionali osservati durante la visita presso l'impianto Veneta Ecorecuperi.

6.3.1 Registrazione e presa in carico del veicolo

La prima operazione all'ingresso del veicolo consiste nella presa in carico amministrativa, indispensabile per la tracciabilità del rifiuto e per garantire la piena conformità normativa. Durante questa fase:

- Il veicolo viene identificato tramite targa, numero di telaio (VIN) e dati del conferitore.
- Si verifica lo stato del veicolo (incidentato, incendiato, inutilizzabile, integro, ecc.), elemento utile per decidere successivamente le modalità di trattamento.
- Il veicolo viene registrato come rifiuto pericoloso all'interno del registro di carico e scarico.
- Viene avviata la procedura di classificazione preliminare, che determina obblighi e modalità operative per le fasi successive.

La registrazione consente inoltre di emettere la documentazione prevista (FIR, certificato di rottamazione se applicabile), che accompagna il veicolo lungo l'intero

processo di trattamento. Si tratta di una fase essenziale, perché non è possibile iniziare alcuna operazione tecnica senza prima aver identificato e documentato correttamente il veicolo.

Di seguito, in figura 6.3.2 e in figura 6.3.3, si riporta un esempio di tali documenti.

FORMULARIO RIFIUTI

REGISTRO: Nr. registrazione NO: DATA EMISSIONE: 31/07/2025 YNHHN

1 PRODUTTORE
Denominazione: [REDACTED]
Unità Locali: [REDACTED]
Luogo di produzione se diverso dall'unità locale: [REDACTED]
Codice Fiscale: BRM [REDACTED]
N. Aut./Comunicazione: [REDACTED]
Numero Iscrizione Albo: [REDACTED]
Tipo: [REDACTED]

2 DETENTORE
Denominazione: VENETA ECORECUPERI S.R.L. SOCIETÀ BENEFIT
Unità locale: VIA VALLETTA 38 30010 CONA (VE)
Codice Fiscale: 03894830276
N. Aut./Comunicazione: 3174/2018
Numero Iscrizione Albo: [REDACTED]
Destinazione: RR13 D
Tipo: Autorizzazione unica per i nuovi impianti di recupero/smaltimento - Art. 208 del D. Lgs. n. 152/2006 e s.m.i.

3 DESTINATARIO
Denominazione: VENETA ECORECUPERI S.R.L. SOCIETÀ BENEFIT
Unità locale: VIA VALLETTA 38 30010 CONA (VE)
Codice Fiscale: 03894830276
N. Aut./Comunicazione: 3174/2018
Numero Iscrizione Albo: [REDACTED]
Destinazione: RR13 D
Tipo: Autorizzazione unica per i nuovi impianti di recupero/smaltimento - Art. 208 del D. Lgs. n. 152/2006 e s.m.i.

4 TRASPORTATORE
Denominazione: VENETA ECORECUPERI S.R.L. SOCIETÀ BENEFIT
Codice Fiscale: 03894830276
Numero Iscrizione Albo: VE/014897

5 INTERMEDIARIO o COMMERCIANTE
Denominazione: [REDACTED]
Codice Fiscale: [REDACTED]
Numero Iscrizione Albo: [REDACTED]

6 CARATTERISTICHE DEL RIFIUTO
CODICE CER: 160104* STATO FISICO: S CARATTERISTICHE DI PERICOLO: HP14
Descrizione: [REDACTED]
Quantità: 1000 kg X Litri: [REDACTED] Peso verificato in portante: [REDACTED] Aspetto avverso: Nr. Cont./Contenitori: 1 Altri rischi: [REDACTED]
CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE: [REDACTED]
Atto/Ispezione di prova: [REDACTED] Classificazione: [REDACTED] Nr. documento: [REDACTED] Valida al: [REDACTED]
Trasporto ADR/RID: [REDACTED] Classe pericolo: [REDACTED] Nr. CIAU: [REDACTED] Note: [REDACTED]

9 TRASPORTO
Targa autoveicolo: CG423CZ Targa rimorchi: [REDACTED]
10 ALLEGATO MOD. MICRORACCOLTA INTERMODALE
Passeggeri (se diverso da 0-3 persone): [REDACTED]

8 COGNOME e NOME CONDUCENTE
Data inizio trasporto: 31/07/25 Ora: 1530
11 FIRMA DEL CONDUCENTE
7 FIRMA DEL PRODUTTORE o del DETENTORE

12 RISERVATO al DESTINATARIO
Il carico è stato: Accettato per intero X Accettato parzialmente [REDACTED] Rifiuto [REDACTED] Cusale respingimento: NC IR A
Quantità accettata: 1345 kg Quantità respinta: [REDACTED] kg
In attesa di verifica analitica: [REDACTED]
Data arrivo: 31/07/25 Ora: 16 00 Firma del Destinatario: [REDACTED]

17 ANNOTAZIONI
LANCIA PHEDRA Telaio: ZLA17 [REDACTED] Targa: [REDACTED] - ESENTE ADR DISPOSIZIONE SPECIALE N.666

Vid Vrt del 31/07/2025 05:48:10 per conto della Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Venezia Rovigo, rich. da 03894830276 - VENETA ECORECUPERI S.R.L. SOCIETÀ BENEFIT YNHHN

Stampa a rilievo con: Una copia rimane presso il produttore e l'altro accompagna il rifiuto fino a destinazione.
Modulo - PPS 2024/01 - Modulo conforme all'Allegato 2 al DM 4 aprile 2023 n.50 - rev. 1.0

Figura 6.3.2 - Formulario Rifiuti

CERTIFICATO DI ROTTAMAZIONE

Codice certificato di rottamazione: 20250801CD00513 [REDACTED]

Causale: DEMOLIZIONE

Data emissione certificato e presa in possesso del veicolo: 01/08/2025 10:50

CENTRO RACCOLTA VEICOLI A MOTORE

Denominazione: VENETA ECORECUPERI S.R.L.

Tipo Società: SRL

Codice Fiscale: 03894830276

Sede Operativa: DEVE0001

Indirizzo: VIA VALLETTA 38

Comune: CONA

Provincia Sede: VENEZIA

Il Centro di Raccolta risulta autorizzato ad operare, in base alle verifiche effettuate sui sistemi informatici integrati.

Dati Veicolo

Targa: CG [REDACTED]

Classe Veicolo: AUTOVEICOLO

Telaio: ZLA1790001 [REDACTED]

Marca/Modello: FIAT AUTO S.P.A.179BXC1A 3AL

DATI INTESTATARIO

Nome: LUCA

Cognome: [REDACTED]

Comune di nascita: MONSELICE

Provincia di nascita: PADOVA

Data di nascita: 18/09/ [REDACTED]

CF: BRMLCU [REDACTED]

Indirizzo: [REDACTED]

Comune: CONA

Provincia: VENEZIA

DISTINTA DOCUMENTI E TARGHE

CDP:	Allegato ☐	Denuncia ☐	CdC\DU:	Allegato ☒	Denuncia ☐	Verb.Ritiro ☐
Foglio Comp1:	Allegato ☐	Denuncia ☐	Targa:	Anteriore ☒	Posteriore ☒	Denuncia ☐
Doc. Ident.:	Intestataria ☒	Detentore ☐	Altro:			

Note Aggiuntive (Parti mancanti/Rifiuti aggiuntivi):

Note Aggiuntive (altro):

IL CENTRO DI RACCOLTA DICHIARA

I documenti e le targhe se consegnate dall'intestatario/detentore vengono trattenuti dal centro autorizzato, che procede alla loro distruzione e si impegna a provvedere, ove prescritto, alla cancellazione del veicolo dall'Archivio Nazionale dei veicoli e dal Pubblico Registro Automobilistico, secondo le disposizioni contenute nel decreto legislativo n. 98/2017, nonché al trattamento dello stesso ai sensi della normativa vigente

Il presente certificato, ai sensi dell'art. 5 comma 12, del D.lgs 269/2003, libera il detentore, identificato all'atto del conferimento del veicolo, dalla responsabilità penale, civile e amministrativa connessa alla proprietà e alla corretta gestione del veicolo.

Figura 6.3.3 - Certificato di rottamazione

6.3.2 Messa in sicurezza (Depollution)

La messa in sicurezza, prevista dalla Direttiva 2000/53/CE e dal D.Lgs. 209/2003, rappresenta una fase tecnica particolarmente delicata. Essa ha l'obiettivo di rimuovere tutte le componenti e i materiali che, se non trattati, potrebbero costituire un pericolo ambientale o per gli operatori.

Le operazioni comprendono:

- **Drenaggio dei liquidi pericolosi:** carburanti, oli motore, oli cambio e trasmissione, liquido freni, antigelo, fluidi refrigeranti del climatizzatore (che includono gas fluorurati soggetti a normativa specifica).

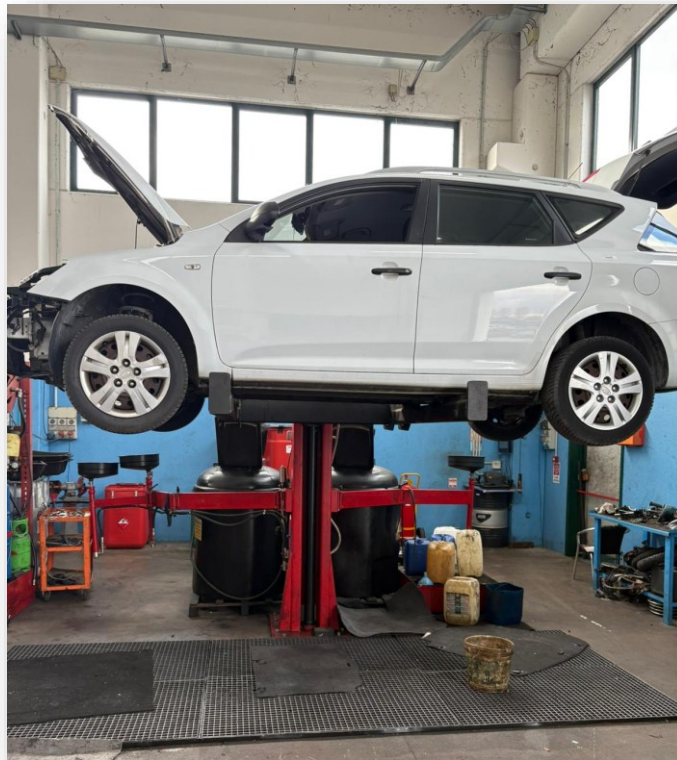


Figura 6.3.4 - Drenaggio dei liquidi pericolosi

- **Rimozione delle batterie:** sia quelle tradizionali al piombo-acido, sia eventuali batterie ausiliarie. Nel caso di veicoli ibridi o elettrici, la batteria di trazione richiede procedure dedicate di messa in sicurezza elettrica.



Figura 6.3.3 - Batteria di trazione EV

- **Neutralizzazione e rimozione degli airbag:** dispositivi che rappresentano un rischio esplosivo se non gestiti correttamente.
- **Gestione delle bombole GPL o metano:** particolarmente critiche a causa della pressione interna (fino a 200 bar per il metano). Questi elementi devono essere svuotati, inertizzati e rimossi seguendo protocolli specifici.



Figura 6.3.4 - Bombole di GPL



Figura 6.3.5 - Bombole di Metano

Un aspetto fondamentale dell'impianto Veneta Ecorecuperi è la gestione delle acque meteoriche e di lavaggio: qualsiasi liquido che raggiunge il suolo viene convogliato in vasche interrate di raccolta e successiva bonifica, evitando il rischio di contaminazione ambientale.

Completata la depollution, il veicolo viene riclassificato come rifiuto non pericoloso e riceve il codice CER 16.01.06 ("veicoli fuori uso non contenenti liquidi né altre componenti pericolose"). Solo a questo punto è tecnicamente e legalmente possibile procedere con smontaggio e riciclo.

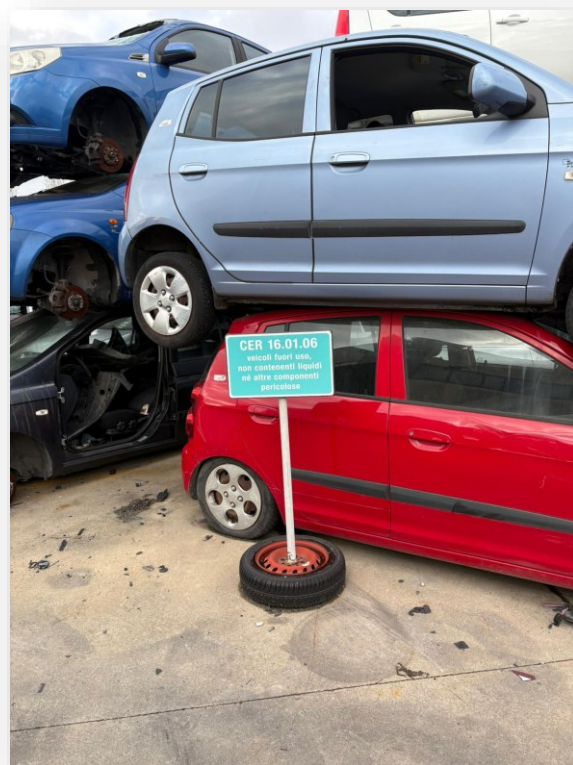


Figura 6.3.6 - Veicoli con codice CER 16.01.06

6.3.3 Recupero e riutilizzo dei componenti

Il recupero dei componenti riutilizzabili rappresenta una fase centrale nel processo di gestione dei veicoli fuori uso e costituisce, per Veneta Ecorecuperi, una delle principali attività di business. L'azienda concentra infatti una parte significativa della propria strategia economica sulla commercializzazione dei ricambi usati, un settore che richiede competenze tecniche, capacità valutativa e un'organizzazione avanzata del magazzino ricambi.

Durante la visita è emerso che il valore economico derivante dal riutilizzo dei componenti è superiore rispetto a quello ottenibile dal solo riciclo dei materiali. Per questo motivo, l'impianto dedica particolare attenzione alla selezione dei pezzi che possono essere recuperati, testati, catalogati e resi disponibili per la vendita.

Tra i principali componenti valutati per il recupero:

- **Motore e cambio**, che rappresentano le componenti di maggior valore quando in buone condizioni.



Figura 6.3.7 - Parti recuperate da veicoli fine vita

- **Componentistica meccanica** (alternatori, motorini di avviamento, compressori A/C, pompe).
- **Componenti elettronici** ed elettrici, la cui domanda è in costante crescita.
- **Elementi di carrozzeria** (cofani, paraurti, portiere) e **fanaleria**.



Figura 6.3.8 - Paraurti recuperate

- **Cerchi in lega**, ampiamente richiesti nel mercato aftermarket.

Un elemento distintivo dell'azienda è l'utilizzo di un software gestionale avanzato (**PartsCoder**) per la catalogazione dei veicoli e dei ricambi. Sebbene questo aspetto sarà approfondito più avanti nel capitolo, è opportuno sottolineare che tale strumento permette una gestione efficiente del magazzino, una rapida individuazione dei pezzi disponibili e una tracciabilità accurata del percorso di ciascun componente.

Catalizzatori e recupero dei metalli preziosi

Una componente di particolare rilevanza nella fase di smontaggio è la marmitta catalitica, comunemente chiamata catalizzatore. Pur non essendo generalmente destinata al riutilizzo come ricambio, essa rappresenta una delle parti più preziose del veicolo grazie alla presenza di metalli rari appartenenti al gruppo dei platinoidi, quali platino (Pt), palladio (Pd) e rodio (Rh).

Tali metalli, depositati sul supporto ceramico (monolite) contenuto nella struttura del catalizzatore, sono essenziali per favorire le reazioni di ossidazione e riduzione degli inquinanti nei gas di scarico. Proprio per il loro elevato valore economico, i catalizzatori vengono:

- **rimossi prima della frantumazione** del veicolo;
- **separati dalla parte metallica esterna** tramite taglio;



Figura 6.3.9 - Strumento di taglio per catalizzatori

- **avviati a impianti specializzati** nella raffinazione dei metalli preziosi.

Il processo di recupero prevede la micronizzazione del monolite ceramico e successive fasi termiche e chimiche che permettono l'estrazione selettiva dei metalli. L'elevato valore dei platinoidi rende questo flusso un contributo significativo alla redditività complessiva del trattamento dei VFU.



Figura 6.3.10 - Parte del catalizzatore

Nonostante ciò, il comparto dei ricambi usati presenta alcune criticità strutturali comuni al settore, tra cui:

- la variabilità dello stato dei componenti recuperati;
- il tempo necessario per le attività di smontaggio e verifica funzionale;

- l'eterogeneità della domanda di mercato;
- la scarsa standardizzazione e digitalizzazione a livello nazionale.

Veneta Ecorecuperi, tuttavia, ha investito in digitalizzazione e processi organizzativi avanzati, riuscendo a valorizzare una parte significativa dei componenti recuperati, riducendo contestualmente la quota di materiali avviati direttamente a frantumazione.

6.3.4 Preparazione al riciclo: compattazione e invio a frantumazione

Una volta conclusa la fase di recupero dei componenti riutilizzabili, il veicolo entra nella fase preparatoria al riciclo dei materiali. Questa fase rappresenta il passaggio di transizione tra la valorizzazione diretta dei ricambi e la valorizzazione materica del veicolo. L'obiettivo è ottimizzare la gestione della carcassa residua, rendendola idonea ai processi di frantumazione industriale che consentiranno la separazione delle diverse frazioni materiali.

La preparazione al riciclo prevede diverse operazioni:

- **Rimozione preliminare di parti facilmente separabili**, qualora non sia stato fatto in precedenza: plastiche ingombranti, serbatoi, vetri e componenti omogenei che possono essere valorizzati separatamente.
- **Compattazione mediante pressatura**, attraverso la quale il veicolo viene ridotto di volume. Questa trasformazione è essenziale per ottimizzare lo stoccaggio interno all'impianto e per ridurre i costi logistici connessi al trasporto verso gli impianti shredder.

Il risultato della pressatura è un "pacco" metallico di densità controllata. Prima del trattamento di frantumazione, tali pacchi possono essere snervati, cioè parzialmente decompressi, per evitare sovraccarichi sui mulini o potenziali danneggiamenti alle apparecchiature di triturazione.



Figura 6.3.11 - Veicolo a seguito di compattazione

Negli impianti di frantumazione, il veicolo pressato viene sottoposto a un processo meccanico ad alta energia che produce frammenti di dimensioni ridotte. Questo materiale eterogeneo è quindi indirizzato ai sistemi di separazione fisica basati su magneti, correnti parassite, vagliatura, separazione densimetrica e flussi d'aria.

Questa fase ha un ruolo strategico nel ciclo del fine vita, poiché la qualità della frantumazione e della separazione preliminare influisce direttamente sulla purezza delle frazioni riciclabili, sul valore economico della materia prima seconda ottenuta e sul rispetto dei target di riciclo imposti dalla normativa europea.

6.3.5 Recupero e raffinazione dei materiali

La fase di recupero e raffinazione dei materiali rappresenta il momento in cui il veicolo fuori uso, ormai ridotto a frammenti eterogenei dopo la frantumazione, viene trasformato in frazioni valorizzabili come materie prime seconde. Si tratta di una fase cruciale sia per il rispetto degli obblighi normativi europei (target di riciclo e recupero), sia per la sostenibilità economica dell'intero processo industriale.

Il materiale proveniente dagli impianti shredder viene sottoposto a una serie di tecniche di separazione fisica basate su proprietà magnetiche, densità, conduttività e caratteristiche aerodinamiche. Da questo insieme di processi derivano le principali frazioni descritte di seguito.

Metalli ferrosi

I metalli ferrosi costituiscono generalmente la quota più consistente della massa di un veicolo. Essi vengono separati per via magnetica e destinati alle acciaierie, dove vengono rifusi per la produzione di nuovo acciaio. Questa filiera è altamente consolidata e rappresenta uno dei segmenti più efficienti del riciclo dei VFU, con ottimi rendimenti in termini di qualità del materiale rigenerato.

Metalli non ferrosi

La categoria dei metalli non ferrosi è composta principalmente da alluminio e rame, ma comprende anche piccole quantità di zinco, ottone e altre leghe.

- **Cerchi in lega:** trattandosi di leghe di alluminio ad alto contenuto di silicio (Al-Si), caratterizzate da buona fusibilità e proprietà meccaniche specifiche, vengono separati a monte e avviati a riciclo come flusso omogeneo e di elevata qualità.



Figura 6.3.12 - Cerchi in lega

- **Alluminio da carcassa:** derivante da lamierati e strutture, è generalmente più contaminato e presenta una varietà maggiore di leghe. Ciò richiede processi di raffinazione più complessi prima della rifusione.



Figura 6.3.13 - Alluminio da carcassa

- **Rame:** presente principalmente nei cablaggi elettrici e in alcune parti meccaniche; viene separato tramite correnti indotte e valorizzato in fonderia

Componentistica meccanica pesante

Motori, cambi e trasmissioni rappresentano componenti composti complessi, costituiti da ghisa, acciaio, alluminio e metalli non ferrosi. Essi vengono inviati a mulini dedicati per la frantumazione pesante, dove processi di separazione successivi permettono di isolare materiali differenti. Questo trattamento dedicato consente di ottimizzare la resa del recupero e di ottenere frazioni metalliche di maggiore purezza.

Plastiche, vetro, gomme e fluff

- Le **plastiche** automobilistiche sono altamente eterogenee (PP, ABS, PC, PVC), e spesso risultano contaminate o miscelate. La loro valorizzazione dipende dalla purezza raggiungibile: una parte può essere riciclata, mentre la frazione meno selezionabile viene avviata a recupero energetico.
- Il **vetro** delle finestre laterali e posteriori è generalmente riciclabile; i parabrezza stratificati richiedono invece processi specifici di separazione del PVB.
- Le **gomme** seguono filiere consortili che consentono la produzione di granuli, polverini o combustibile solido secondario.
- Il **fluff**, costituito da plastiche leggere, tessuti, schiume e residui non recuperabili, rappresenta la frazione più problematica. Pur non essendo facilmente valorizzabile, la ricerca sta sviluppando tecnologie innovative per ridurre l'impatto, incluse forme avanzate di recupero energetico.

Nel complesso, questa fase definisce l'effettivo tasso di riciclo e recupero del veicolo, influenzando in maniera determinante la performance ambientale dell'intero processo e la capacità dell'impianto di soddisfare i target imposti dalla Direttiva 2000/53/CE.

6.4 Criticità operative e limiti del processo

L'osservazione diretta delle attività operative, integrata con l'analisi della letteratura tecnica e dei documenti istituzionali europei, ha permesso di individuare una serie di criticità strutturali che caratterizzano il processo di trattamento dei veicoli fuori uso.¹⁶ Tali criticità non sono riconducibili al singolo impianto analizzato, ma risultano diffuse a livello di sistema e riflettono i limiti intrinseci dell'attuale modello di gestione degli ELV.

Una prima area critica riguarda la messa in sicurezza dei veicoli, in particolare nel caso di mezzi gravemente incidentati, incendiati o deformati. In queste condizioni, alcune componenti pericolose possono risultare difficilmente accessibili o non immediatamente individuabili (serbatoi danneggiati, circuiti elettrici compromessi, batterie non accessibili), aumentando il rischio operativo per gli addetti durante le fasi di depollution e smontaggio.¹⁶

Un'ulteriore criticità è rappresentata dalla crescente diffusione di veicoli elettrici e ibridi, che introduce nuove complessità tecniche e organizzative. Le batterie di trazione agli ioni di litio richiedono procedure specifiche di disattivazione, stoccaggio e messa in sicurezza, oltre a competenze specialistiche e infrastrutture dedicate. La variabilità delle chimiche e delle architetture delle batterie rende inoltre complessa la standardizzazione dei processi di trattamento, aumentando i costi operativi e i rischi associati alla gestione di fine vita.¹⁸

Dal punto di vista del recupero dei materiali, una delle principali criticità è rappresentata dall'Automotive Shredder Residue (ASR), ovvero la frazione residua derivante dalla frantumazione dei veicoli, costituita prevalentemente da plastiche, gomme, tessuti e materiali compositi. Studi di settore evidenziano come l'ASR possa rappresentare fino al 20–25% in peso di un veicolo fuori uso e presenti notevoli difficoltà di separazione e valorizzazione, limitando il raggiungimento di elevati tassi di riciclo materiale.¹⁷

Anche il mercato dei ricambi usati, pur offrendo interessanti opportunità in termini di economia circolare, è caratterizzato da alcune barriere strutturali. Tra queste rientrano la variabilità della domanda, la mancanza di standard uniformi di certificazione dei componenti recuperati e un livello di digitalizzazione ancora disomogeneo a scala nazionale ed europea, fattori che incidono sulla piena valorizzazione del potenziale di riutilizzo.

6.5 Prospettive di sviluppo e innovazione nel settore

Le criticità emerse nell'analisi del processo di trattamento dei veicoli fuori uso evidenziano la necessità di un'evoluzione strutturale del settore, sia sotto il profilo normativo sia sotto quello tecnologico e organizzativo. In ambito europeo, tale evoluzione è attualmente in corso attraverso la revisione della Direttiva 2000/53/CE, che sarà sostituita da un Regolamento direttamente applicabile negli Stati membri, con l'obiettivo di rafforzare l'efficacia delle politiche di economia circolare nel settore automotive.

Un elemento centrale delle nuove politiche europee è il rafforzamento del principio di Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), che attribuisce ai costruttori un ruolo sempre più rilevante nella gestione del fine vita dei veicoli. Le proposte normative introducono requisiti più stringenti in termini di progettazione, tracciabilità dei materiali e utilizzo di contenuto riciclato, con l'obiettivo di migliorare la qualità delle materie prime seconde e ridurre le perdite di valore lungo la filiera.

In tale contesto assume particolare importanza il concetto di eco-design, inteso come progettazione del veicolo orientata fin dalle fasi iniziali alla facilitazione delle operazioni di smontaggio, separazione e riciclo. La riduzione della varietà di materiali, la standardizzazione delle connessioni e la disponibilità di informazioni tecniche accessibili agli operatori del fine vita rappresentano fattori chiave per aumentare l'efficienza dei processi di trattamento.¹⁹

Un ulteriore ambito di sviluppo riguarda la digitalizzazione dei processi. L'adozione di sistemi informativi avanzati per la gestione dei veicoli e dei ricambi consente di

migliorare la tracciabilità, ottimizzare le operazioni di smontaggio e incrementare il valore economico del riutilizzo. A livello europeo, si stanno inoltre sviluppando strumenti digitali quali il *digital product passport (DPP)*, che potrebbe facilitare lo scambio di informazioni lungo l'intero ciclo di vita del veicolo.

Infine, un ruolo sempre più strategico è assunto dallo sviluppo di filiere dedicate al recupero delle batterie di trazione e dei materiali critici in esse contenuti. La crescita del parco veicoli elettrico rende necessario investire in tecnologie di riciclo avanzate e in soluzioni di second life per le batterie, al fine di ridurre la dipendenza da materie prime critiche e migliorare la sostenibilità complessiva della mobilità elettrica.¹⁸

6.6 Digitalizzazione e gestione dei ricambi nel settore dei veicoli fuori uso: il software PartsCoder

L'analisi delle criticità operative e delle prospettive di sviluppo del settore evidenzia come la digitalizzazione rappresenti uno degli strumenti più efficaci per affrontare le sfide legate alla tracciabilità, all'efficienza operativa e alla valorizzazione economica dei veicoli fuori uso. In particolare, la gestione dei ricambi usati richiede sistemi informativi in grado di integrare dati amministrativi, tecnici e commerciali, superando la frammentazione tipica degli approcci tradizionali.

In questo contesto si colloca il software **PartsCoder**, adottato dall'impianto Veneta Ecorecuperi come strumento centrale per la gestione dei veicoli e dei componenti recuperati. La piattaforma costituisce un esempio concreto di applicazione dei principi di digitalizzazione e di economia circolare al settore ELV, fungendo da collegamento tra le fasi operative di trattamento del veicolo e le attività di commercializzazione dei ricambi. I paragrafi successivi analizzano il ruolo della digitalizzazione nella filiera ELV, le principali funzionalità del sistema e gli impatti generati in termini di efficienza, tracciabilità e sostenibilità.

L'evoluzione del settore dei veicoli fuori uso è sempre più influenzata dai processi di digitalizzazione, che rappresentano una leva strategica per migliorare l'efficienza operativa, la tracciabilità dei flussi informativi e la valorizzazione economica dei

componenti recuperati. In un contesto caratterizzato da elevata complessità normativa, crescente pressione sui target di recupero e forte competitività del mercato dei ricambi usati, l'adozione di strumenti digitali avanzati diventa un fattore determinante per la sostenibilità tecnica ed economica degli impianti di trattamento.

In tale scenario si inserisce il software **PartsCoder**, sviluppato per supportare in modo integrato la gestione dei veicoli e dei ricambi all'interno degli impianti ELV. Il sistema non si limita a svolgere una funzione amministrativa, ma si configura come una piattaforma abilitante capace di collegare le fasi operative, informative e commerciali del processo di fine vita del veicolo.

6.6.1 Il ruolo della digitalizzazione nella filiera ELV

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, una delle principali criticità del settore ELV riguarda la difficoltà di gestire in modo strutturato l'elevata quantità di informazioni associate a ciascun veicolo e ai componenti da esso derivati. La frammentazione dei dati, spesso gestiti attraverso strumenti non integrati o procedure manuali, limita l'efficienza operativa e riduce il potenziale di valorizzazione dei ricambi.

La digitalizzazione consente di superare tali limiti attraverso la creazione di sistemi informativi centralizzati, in grado di associare in modo univoco le informazioni amministrative, tecniche e logistiche del veicolo. In questo modo, ogni veicolo può essere seguito lungo l'intero ciclo di trattamento, dalla presa in carico fino alla destinazione finale dei componenti e dei materiali.

Nel contesto normativo europeo, la disponibilità di dati strutturati e tracciabili assume inoltre un ruolo strategico per il rispetto degli obblighi di rendicontazione, per la dimostrazione delle performance di recupero e per l'attuazione del principio di responsabilità estesa del produttore. La digitalizzazione diventa quindi non solo uno strumento di efficienza interna, ma anche un supporto alla conformità normativa.

6.6.2 Architettura e funzionalità del software PartsCoder

PartsCoder è concepito come una piattaforma modulare progettata specificamente per le esigenze operative degli impianti di trattamento dei veicoli fuori uso. L'architettura del sistema consente di integrare diverse aree funzionali, riducendo la dipendenza da strumenti eterogenei e favorendo una gestione unificata delle informazioni.

Una delle caratteristiche centrali del software è l'utilizzo del **numero di telaio (VIN)** come elemento chiave di collegamento tra il veicolo e i componenti recuperati. Attraverso l'associazione VIN-based, il sistema permette di:

- identificare con precisione le specifiche tecniche del veicolo;
- supportare la corretta catalogazione dei ricambi;
- ridurre errori di identificazione e incompatibilità dei componenti.

Il software integra, inoltre, moduli dedicati alla gestione del piazzale e delle operazioni logistiche, consentendo di monitorare la posizione dei veicoli, lo stato delle lavorazioni e la disponibilità dei componenti. Tali funzionalità risultano particolarmente rilevanti in impianti che gestiscono volumi elevati di veicoli, dove l'organizzazione degli spazi e dei flussi interni incide in modo significativo sull'efficienza complessiva.

Dal punto di vista commerciale, PartsCoder supporta le attività di pricing e vendita dei ricambi, integrandosi con canali di vendita digitali e marketplace. Questo aspetto consente di ampliare il bacino di utenza, migliorare la visibilità dei componenti disponibili e ridurre i tempi di giacenza a magazzino.

6.6.3 Impatti su efficienza operativa, tracciabilità e sostenibilità

L'introduzione di un sistema digitale integrato come PartsCoder produce effetti rilevanti su più livelli del processo di gestione dei veicoli fuori uso. In termini di efficienza operativa, la digitalizzazione consente di ridurre i tempi necessari per la catalogazione dei ricambi, standardizzare le procedure di lavoro e migliorare il coordinamento tra le diverse fasi operative.

Dal punto di vista della tracciabilità, la disponibilità di informazioni strutturate e continuamente aggiornate facilita il monitoraggio del percorso del veicolo e dei singoli componenti, dalla presa in carico fino alla vendita o al riciclo. Questo aspetto assume particolare importanza in relazione ai requisiti normativi europei e alle prospettive di introduzione di strumenti quali il *digital product passport (DPP)*, che richiederanno una sempre maggiore integrazione dei dati lungo il ciclo di vita del prodotto.

Infine, l'utilizzo di strumenti digitali avanzati contribuisce indirettamente alla sostenibilità ambientale del processo. Migliorando l'efficienza del recupero dei ricambi e favorendo il riutilizzo dei componenti, il software consente di ridurre la quota di materiali avviati direttamente a frantumazione, con benefici in termini di risparmio di risorse e riduzione delle emissioni associate alla produzione di nuovi componenti.

In questo senso, PartsCoder può essere interpretato come un elemento abilitante dell'economia circolare applicata al settore automotive, capace di integrare innovazione tecnologica, conformità normativa e competitività economica. La sua adozione rappresenta un esempio concreto di come la digitalizzazione possa contribuire a trasformare un'attività tradizionalmente orientata al trattamento dei rifiuti in un sistema più evoluto di gestione delle risorse.

6.7 Digitalizzazione avanzata e formazione immersiva nel settore ELV: il contributo del VR training e del digital twin

L'analisi del caso studio di Veneta Ecorecuperi mette in evidenza come il settore del trattamento dei veicoli fuori uso sia caratterizzato da una crescente complessità operativa, dovuta sia all'evoluzione tecnologica dei veicoli sia all'inasprimento dei requisiti normativi in materia di sicurezza, tracciabilità e recupero dei materiali. In tale contesto, accanto agli strumenti di digitalizzazione gestionale già ampiamente diffusi, stanno emergendo soluzioni digitali avanzate orientate alla formazione, alla simulazione dei processi e al supporto decisionale, tra cui il Virtual Reality (VR) training e i digital twin.

Un esempio significativo in questa direzione è rappresentato dalle iniziative promosse nell'ambito del progetto europeo C-MINETECH, al quale l'autore ha avuto modo di partecipare tramite un workshop dedicato. Il progetto, sostenuto da EIT RawMaterials, mira a sviluppare strumenti digitali innovativi per la formazione e il trasferimento di competenze nel settore delle materie prime, con particolare attenzione alle fasi critiche della catena del valore, tra cui il trattamento di materiali a fine vita e i processi di riciclo.

Nel contesto specifico dei veicoli fuori uso, il VR training consente di ricreare ambienti operativi realistici nei quali gli operatori possono essere formati sulle procedure di messa in sicurezza, smontaggio e gestione dei componenti critici senza esposizione ai rischi tipici delle attività reali. Attraverso simulazioni immersive, è possibile addestrare il personale alla corretta gestione di situazioni potenzialmente pericolose, come la rimozione delle batterie di trazione nei veicoli elettrici, la neutralizzazione degli airbag o la gestione di serbatoi e circuiti pressurizzati. Questo approccio risulta particolarmente rilevante in un settore in cui la sicurezza degli operatori rappresenta una priorità assoluta e in cui l'errore umano può avere conseguenze significative.

Complementare al VR training è il concetto di digital twin, inteso come rappresentazione digitale di un sistema fisico reale. Applicato al settore ELV, il digital twin può essere utilizzato per modellare il ciclo di trattamento del veicolo, simulare scenari alternativi di smontaggio e recupero dei materiali e analizzare l'impatto di diverse scelte operative sulla qualità delle frazioni ottenute. Tali strumenti permettono di valutare in modo virtuale l'efficienza dei processi, supportando decisioni orientate all'ottimizzazione delle operazioni e alla riduzione delle perdite di valore lungo la filiera del riciclo.

L'introduzione di soluzioni di formazione immersiva e simulazione digitale si inserisce coerentemente nel percorso di evoluzione del settore verso modelli più avanzati di economia circolare. In particolare, la possibilità di integrare strumenti come VR training e digital twin con sistemi informativi già in uso negli impianti (ad esempio

software di gestione dei veicoli e dei ricambi) apre prospettive interessanti per una gestione sempre più integrata dei flussi materiali e informativi.

Nel complesso, le iniziative promosse da C-MINETECH evidenziano come la digitalizzazione non debba essere intesa esclusivamente come strumento di gestione amministrativa o commerciale, ma anche come leva strategica per la formazione, la sicurezza e il miglioramento continuo dei processi industriali. Tali sviluppi rappresentano un'evoluzione naturale rispetto alle pratiche operative osservate nel caso studio di Veneta Ecorecuperi e costituiscono un riferimento rilevante per le prospettive future del settore ELV, preparando il terreno per una sintesi complessiva nelle considerazioni conclusive del capitolo.

6.8 Considerazioni conclusive sul caso studio

Il caso studio sviluppato nel presente capitolo ha consentito di analizzare in modo approfondito il ciclo di gestione dei veicoli fuori uso, mettendo in relazione il quadro normativo di riferimento, le pratiche operative osservate e le principali criticità che caratterizzano il settore ELV. L'osservazione diretta delle attività svolte presso l'impianto Veneta Ecorecuperi ha permesso di verificare come le prescrizioni legislative trovino applicazione concreta nelle diverse fasi del trattamento, dalla messa in sicurezza iniziale fino al recupero e alla valorizzazione dei materiali.

L'analisi ha evidenziato come la gestione dei veicoli fuori uso non possa essere interpretata esclusivamente come un'attività di trattamento dei rifiuti, ma debba essere considerata come un processo industriale complesso, nel quale assumono un ruolo centrale la valorizzazione dei componenti riutilizzabili, il recupero di materiali ad alto valore aggiunto e l'efficienza organizzativa dell'impianto. In tale contesto, la capacità di intercettare e gestire flussi specifici, come i ricambi usati e i catalizzatori contenenti metalli preziosi, incide in modo significativo sulla sostenibilità economica complessiva del sistema.

Le criticità emerse, in particolare quelle legate alla gestione delle frazioni non metalliche, all'Automotive Shredder Residue e all'introduzione di nuove tecnologie

veicolari, come i veicoli elettrici e ibridi, confermano la necessità di un'evoluzione del settore orientata verso soluzioni tecniche e organizzative più avanzate. L'aumento della complessità dei veicoli e la presenza di componenti ad alto rischio operativo richiedono competenze sempre più specialistiche, oltre a procedure strutturate in grado di garantire elevati livelli di sicurezza e conformità normativa.

In questo quadro, l'analisi delle soluzioni di digitalizzazione presentate nel capitolo, dal software gestionale PartsCoder agli strumenti di formazione immersiva e simulazione digitale introdotti attraverso le iniziative C-MINETECH, evidenzia come l'innovazione tecnologica possa svolgere un ruolo abilitante nel miglioramento dei processi ELV. La digitalizzazione consente infatti di rafforzare la tracciabilità dei flussi, ottimizzare le operazioni di smontaggio e recupero e supportare la formazione degli operatori in un contesto caratterizzato da rischi elevati e forte variabilità operativa.

Nel complesso, il caso studio di Veneta Ecorecuperi mostra come l'integrazione tra normativa, processi industriali e strumenti digitali rappresenti un fattore chiave per il miglioramento delle performance ambientali ed economiche del settore. Le evidenze emerse confermano che il raggiungimento di elevati tassi di recupero e riciclo non dipende unicamente dalla disponibilità di tecnologie di trattamento, ma anche dalla capacità del sistema di gestire in modo coordinato informazioni, competenze e qualità dei flussi materiali. Tali considerazioni costituiscono un riferimento significativo per le conclusioni generali della tesi, nelle quali il ruolo della qualità, della classificazione e della governance delle materie prime secondarie viene analizzato in una prospettiva più ampia

Capitolo 7 – EIT RawMaterials e la piattaforma M2i come strumento di intelligence per la governance delle materie prime

7.1 Il ruolo dell'European Institute of Innovation and Technology (EIT)

L'European Institute of Innovation and Technology (EIT) è un organismo dell'Unione Europea istituito nel 2008 con l'obiettivo di rafforzare la capacità innovativa dell'Europa, promuovendo l'integrazione tra istruzione superiore, ricerca scientifica e industria. L'EIT nasce nel contesto delle politiche europee volte a colmare il divario di innovazione rispetto ad altre economie avanzate, attraverso un approccio sistemico che favorisca la trasformazione della conoscenza in valore economico, industriale e sociale.

Elemento distintivo dell'EIT è l'adozione del cosiddetto *Knowledge Triangle*, che integra educazione, ricerca e innovazione. Questo modello si concretizza nelle Knowledge and Innovation Communities (KIC), partenariati pubblico-privati tematici che riuniscono università, centri di ricerca, imprese e istituzioni lungo specifiche catene del valore strategiche per l'Unione Europea.

Nel contesto delle recenti strategie europee – tra cui il Green Deal europeo, il Piano d'Azione per l'Economia Circolare e il Critical Raw Materials Act – il ruolo dell'EIT si è progressivamente rafforzato, assumendo una funzione di abilitatore dell'innovazione sistemica. L'EIT non si limita infatti a finanziare progetti di ricerca, ma promuove ecosistemi di innovazione capaci di accelerare l'adozione industriale di nuove tecnologie, ridurre i tempi di trasferimento dal laboratorio al mercato e supportare la resilienza delle catene di approvvigionamento europee.

7.2 EIT RawMaterials: missione, ambiti di intervento e rilevanza strategica

All'interno dell'ecosistema EIT, EIT RawMaterials rappresenta la Knowledge and Innovation Community dedicata al settore delle materie prime, includendo sia le risorse primarie sia le materie prime secondarie derivanti dal riciclo. La sua missione è rafforzare la competitività, la sostenibilità e la resilienza della filiera europea delle

materie prime, riducendo la dipendenza da forniture esterne e favorendo la transizione verso un'economia circolare.

EIT RawMaterials opera lungo l'intera catena del valore delle materie prime, comprendendo esplorazione, estrazione, lavorazione, raffinazione, utilizzo industriale, riciclo e recupero di materiali a fine vita. Questa impostazione end-to-end risulta particolarmente rilevante nel contesto europeo, caratterizzato da una limitata disponibilità di risorse primarie ma da un'elevata produzione di rottami metallici.

In tale scenario, EIT RawMaterials svolge un ruolo di ponte tra industria, ricerca e policy, promuovendo progetti di innovazione tecnologica, programmi di formazione, supporto a startup e PMI e strumenti di analisi a supporto delle decisioni strategiche. Un aspetto centrale dell'azione di EIT RawMaterials è la crescente attenzione verso la governance delle materie prime, intesa come capacità di comprendere, monitorare e orientare i flussi di materiali lungo la catena del valore.

7.3 Origine e finalità della Minerals & Metals Intelligence Platform (M2i)

La Minerals & Metals Intelligence Platform (M2i) nasce come iniziativa strategica promossa da EIT RawMaterials con l'obiettivo di colmare un gap informativo strutturale nella governance delle materie prime in Europa. In un contesto caratterizzato da crescente competizione globale per l'accesso a risorse materiali critiche e da una transizione industriale orientata alla decarbonizzazione, la disponibilità di dati affidabili, comparabili e aggiornati rappresenta un fattore abilitante per decisioni industriali e politiche efficaci.

La piattaforma è concepita come uno strumento di intelligence digitale capace di integrare informazioni su produzione, commercio, distribuzione geografica e utilizzo industriale di minerali e metalli. L'obiettivo non è la semplice raccolta di dati statistici, ma la trasformazione dell'informazione in conoscenza utilizzabile a supporto delle decisioni.

M2i è attualmente sviluppata come Minimum Viable Product (MVP), con un approccio incrementale che consente di adattare progressivamente lo strumento alle esigenze degli stakeholder e di ampliarne nel tempo la copertura e le funzionalità.

7.4 Funzionalità attuali della piattaforma M2i

Nonostante il carattere di MVP, la piattaforma M2i presenta già un insieme strutturato di funzionalità che consentono di analizzare il settore dei minerali e dei metalli da diverse prospettive complementari. L'architettura è basata su dashboard dinamiche e interconnesse, articolate in quattro principali modalità di accesso: Industry Focus, Trade Focus, Region Focus e Commodity Focus.

Architettura generale e modalità di navigazione

L'accesso alla piattaforma avviene tramite una landing page che funge da punto di ingresso alle diverse aree tematiche. La navigazione è progettata per favorire un'esperienza immersiva, consigliando l'utilizzo della modalità full screen. Ogni selezione effettuata dall'utente si riflette in tempo reale su tutti gli elementi grafici, consentendo un'analisi esplorativa e personalizzata.

Industry Focus

La sezione Industry Focus è dedicata all'analisi di specifici settori industriali strategici, tra cui il comparto siderurgico e quello delle terre rare. Le dashboard forniscono una visione di livello executive delle principali variabili di interesse: risorse e riserve, prezzi, quote applicative, produzione globale ed europea e proiezioni di domanda.

Dal punto di vista analitico, questa sezione risulta particolarmente rilevante per evidenziare il grado di esposizione dell'industria europea alle dinamiche di approvvigionamento delle materie prime e per confrontare la capacità produttiva interna con gli obiettivi di medio-lungo termine definiti a livello comunitario, in particolare in relazione alla transizione energetica e alla decarbonizzazione industriale.

Trade Focus

La sezione Trade Focus consente di analizzare i flussi di commercio internazionale di minerali e metalli. Le funzionalità includono la selezione multipla delle commodity, il filtraggio temporale, l'identificazione dei principali Paesi esportatori e importatori e funzioni di drill-down e drill-up per l'analisi a diversi livelli geografici.

In relazione agli obiettivi della presente tesi, tale sezione assume un ruolo chiave nell'interpretazione delle dipendenze esterne dell'Unione Europea e nella lettura delle dinamiche di esportazione e importazione delle materie prime, incluse quelle secondarie. Essa consente di contestualizzare il mercato del rottame all'interno dei flussi globali, mettendo in evidenza potenziali criticità legate alla sicurezza dell'approvvigionamento e alla perdita di valore industriale interno.

Region Focus

La sezione Region Focus integra dati quantitativi e visualizzazioni cartografiche interattive, permettendo di analizzare la produzione e la distribuzione geografica delle commodity a livello di continente e di singolo Paese.

Questa prospettiva geografica risulta particolarmente utile per individuare concentrazioni produttive, asimmetrie territoriali e aree di maggiore vulnerabilità della supply chain. In un contesto europeo caratterizzato da una distribuzione non uniforme delle attività estrattive e di riciclo, tale sezione supporta una lettura territoriale delle politiche industriali e delle strategie di investimento.

Commodity Focus

La sezione Commodity Focus è dedicata all'analisi specifica di singole materie prime. Le dashboard includono dati su produzione, riserve, prezzi, proiezioni di domanda, distribuzione degli impieghi finali e numero di progetti attivi, consentendo una panoramica strutturata e comparabile tra diverse commodity.

Dal punto di vista metodologico, questa sezione permette di collegare le caratteristiche intrinseche di ciascuna materia prima alle relative catene del valore industriali. In

particolare, essa consente di comprendere il ruolo strategico di specifiche commodity nel contesto delle transizioni tecnologiche in atto e di valutare il potenziale impatto di vincoli di disponibilità o concentrazione geografica sul sistema industriale europeo.

7.5 Limiti attuali della piattaforma M2i

Nonostante le potenzialità illustrate nei paragrafi precedenti, la piattaforma M2i presenta alcuni limiti significativi nella sua configurazione attuale, riconducibili principalmente al carattere di *Minimum Viable Product (MVP)* e alla natura ancora prevalentemente macro-aggregata dei dati disponibili.

Un primo limite riguarda la copertura incompleta delle commodity rilevanti per l'industria europea. In particolare, risultano assenti dati strutturati relativi a materiali di grande importanza industriale quali le leghe di alluminio, nonché agli elementi di lega fondamentali che ne determinano le proprietà metallurgiche, come zinco e silicio. Analogamente, il rame risulta attualmente analizzabile solo nelle sezioni *Regional Focus* e *Trade Focus*, senza una visione integrata che ne includa l'utilizzo industriale e la trasformazione lungo la catena del valore.

Un secondo limite rilevante è rappresentato dalla mancanza di dati specifici sulla produzione di acciaio e alluminio a partire da materiale riciclato. L'assenza di una distinzione esplicita tra produzione primaria e secondaria impedisce di valutare il contributo effettivo del riciclo alla produzione complessiva e di quantificare il ruolo delle materie prime secondarie nella riduzione dell'impatto ambientale del settore metallurgico.

In particolare, per il settore siderurgico non è attualmente possibile effettuare un confronto tra le diverse tecnologie produttive, come la produzione di acciaio mediante **forno elettrico ad arco** (EAF) e quella tramite **altoforno** (BOF). Tale distinzione risulta cruciale, in quanto le due tecnologie presentano profili energetici ed emissivi profondamente differenti e un diverso grado di dipendenza dal rottame metallico.

Infine, la piattaforma non integra informazioni relative ai flussi di rottame, alla loro qualità e al modo in cui tali caratteristiche influenzano la produzione dei semilavorati metallici. La mancanza di indicatori legati alla composizione chimica, al livello di contaminazione e alla classificazione del rottame limita la capacità della piattaforma di supportare analisi operative e decisioni industriali lungo la filiera del riciclo.

7.6 Proposte di miglioramento e sviluppi futuri

Alla luce dei limiti evidenziati, la piattaforma M2i potrebbe evolvere verso un sistema di supporto decisionale avanzato, ampliando sia la copertura dei dati sia la profondità delle informazioni disponibili.

Un primo ambito di sviluppo riguarda l'estensione del *Commodity Focus* a materiali oggi non inclusi, come le leghe di alluminio e i relativi elementi di lega. L'integrazione di tali dati consentirebbe di collegare in modo più diretto le caratteristiche chimico-fisiche dei materiali alle loro applicazioni industriali, migliorando la capacità di analisi delle catene del valore a valle.

Un secondo sviluppo strategico potrebbe consistere nell'introduzione di indicatori dedicati alla produzione da materiale riciclato, distinguendo in modo esplicito tra produzione primaria e secondaria per acciaio e alluminio. In questo contesto, un confronto strutturato tra produzione siderurgica tramite EAF e BOF permetterebbe di valutare non solo gli aspetti produttivi, ma anche quelli energetici ed emissivi.

In particolare, l'integrazione di scenari previsionali di risparmio energetico e riduzione delle emissioni nel lungo periodo, legati all'aumento dell'impiego di rottame e alla diffusione delle tecnologie EAF, fornirebbe uno strumento di grande valore per supportare le politiche industriali e ambientali europee.

Un ulteriore ambito di miglioramento riguarda l'analisi dei flussi di rottame e della loro qualità. L'introduzione di indicatori relativi alla composizione chimica, alla classificazione e al grado di contaminazione del rottame consentirebbe di comprendere in che modo tali fattori influenzano la produzione dei semilavorati metallici e la loro

qualità finale. Questo tipo di informazione risulterebbe particolarmente utile per collegare la dimensione macroeconomica dell'intelligence sulle materie prime con le esigenze operative degli impianti di riciclo e trasformazione.

Nel complesso, l'evoluzione della piattaforma M2i in questa direzione permetterebbe di rafforzarne il ruolo come strumento di collegamento tra dati, industria e policy, contribuendo a una gestione più consapevole e strategica delle materie prime e, in particolare, delle risorse secondarie all'interno del sistema industriale europeo.

In tale prospettiva, un ulteriore elemento di valore potrebbe essere rappresentato dalla distinzione tra rottame teoricamente disponibile e rottame effettivamente utilizzabile nei processi industriali, tenendo conto delle perdite lungo le fasi di raccolta, selezione e trattamento, nonché dei vincoli legati alla qualità del materiale. L'introduzione di indicatori di questo tipo consentirebbe di fornire una rappresentazione più realistica del potenziale contributo delle materie prime secondarie alla produzione metallurgica.

Inoltre, l'integrazione di informazioni relative alla qualità del rottame e alla sua compatibilità con le diverse tecnologie produttive, in particolare con i forni elettrici ad arco (EAF), permetterebbe di superare una visione puramente quantitativa del riciclo. Tale approccio renderebbe possibile analizzare come la composizione chimica e il livello di contaminazione del rottame influenzino la gamma di semilavorati producibili, evidenziando il legame tra disponibilità di rottame di qualità, scelte tecnologiche e competitività industriale.

Conclusioni

Il presente lavoro di tesi ha analizzato il ruolo del rottame metallico nel contesto industriale europeo, mettendo in evidenza come esso non possa più essere considerato un semplice sottoprodotto delle attività produttive, ma una vera e propria commodity strategica. Acciaio, alluminio e rame rappresentano risorse fondamentali per la transizione energetica, la decarbonizzazione dei processi industriali e la resilienza delle catene di approvvigionamento, in un contesto caratterizzato da crescente competizione globale e da una disponibilità limitata di materie prime vergini. In tale scenario, il riciclo e la valorizzazione delle materie prime secondarie assumono un ruolo centrale nelle politiche industriali e ambientali dell'Unione Europea.

L'obiettivo principale della tesi è stato quello di approfondire il ruolo della classificazione e della qualità del rottame metallico come leve determinanti per l'efficienza del riciclo e per l'incremento del valore delle materie prime secondarie. L'analisi del contesto economico e normativo europeo ha evidenziato come le attuali dinamiche di mercato, unite alle politiche comunitarie sulle materie prime critiche e sull'economia circolare, rendano sempre più evidente la necessità di un approccio orientato non solo alla quantità di rottame raccolto, ma soprattutto alla sua qualità e idoneità ai processi metallurgici. In questo senso, la classificazione emerge come uno strumento chiave per collegare il flusso dei rifiuti metallici alle esigenze produttive dell'industria.

I capitoli dedicati ai sistemi di classificazione hanno mostrato come l'attuale quadro normativo e tecnico sia caratterizzato da una frammentazione significativa tra classificazioni amministrative, doganali e industriali. Tale disallineamento genera criticità operative, incertezze regolatorie e inefficienze lungo la filiera del riciclo, limitando la piena valorizzazione del rottame metallico. In particolare, nel caso dei metalli non ferrosi e dell'alluminio, la difficoltà di distinguere in modo efficace le diverse leghe e i livelli qualitativi rappresenta un ostacolo rilevante alla produzione di materie prime secondarie di elevata qualità. Ne deriva l'esigenza di un'evoluzione dei

sistemi di classificazione verso modelli più coerenti con le reali caratteristiche metallurgiche del materiale.

I casi studio analizzati hanno fornito un contributo fondamentale alla comprensione delle dinamiche operative della filiera del riciclo. L'esperienza di MG Marostica Group S.p.A. ha permesso di osservare come, a livello industriale, la qualità del rottame dipenda in larga misura dall'esperienza degli operatori, dalle tecnologie di selezione disponibili e dalla capacità di formalizzare procedure di controllo e verifica. L'analisi ha evidenziato come investimenti mirati in strumenti analitici, sistemi di controllo qualità e standardizzazione delle pratiche possano migliorare in modo significativo l'affidabilità del processo di classificazione e la competitività dell'azienda sul mercato delle materie prime secondarie.

Il caso studio di Veneta Ecorecuperi ha invece consentito di approfondire il ciclo di gestione dei veicoli fuori uso, mettendo in luce la complessità crescente del settore ELV. L'introduzione di nuove tecnologie veicolari, in particolare i veicoli elettrici e ibridi, ha aumentato il livello di rischio operativo e la varietà dei materiali da gestire, rendendo indispensabile un approccio sempre più strutturato alla sicurezza, alla tracciabilità e al recupero dei materiali. In questo contesto, la valorizzazione dei componenti riutilizzabili e dei flussi ad alto valore aggiunto emerge come un elemento chiave per la sostenibilità economica del sistema.

Un ulteriore aspetto rilevante emerso dal lavoro riguarda il ruolo della digitalizzazione come fattore abilitante per l'evoluzione della filiera del riciclo. L'analisi di strumenti gestionali, come il software PartsCoder, e delle iniziative legate al VR training e al digital twin promosse nell'ambito di C-MINETECH, mostra come le tecnologie digitali possano contribuire non solo a migliorare l'efficienza operativa, ma anche a rafforzare la formazione degli operatori, la sicurezza e la capacità decisionale degli impianti. La digitalizzazione si configura quindi come un elemento chiave per affrontare la crescente complessità dei processi di fine vita e per supportare modelli più avanzati di economia circolare.

A livello più ampio, la tesi ha evidenziato come la governance delle materie prime secondarie rappresenti una sfida strategica per l'Unione Europea. Strumenti di intelligence come la piattaforma M2i di EIT RawMaterials mostrano il potenziale di un approccio basato sui dati per supportare decisioni industriali e politiche più consapevoli. Inoltre, il rafforzamento delle informazioni strutturate sulla qualità del rottame e sul contributo effettivo del riciclo alla produzione metallurgica costituisce un fattore chiave per migliorare la capacità di valutare in modo completo il ruolo delle materie prime secondarie. In questa prospettiva, l'integrazione tra dati macroeconomici, informazioni operative e indicatori di qualità rappresenta una direzione di sviluppo di grande interesse.

Il lavoro presenta alcuni limiti, legati principalmente al numero di casi studio analizzati e alla natura qualitativa di parte delle osservazioni raccolte. Ulteriori sviluppi potrebbero includere analisi quantitative più approfondite sui flussi di rottame, studi comparativi tra diversi impianti di riciclo e l'introduzione di indicatori standardizzati per la valutazione della qualità del rottame. Inoltre, l'evoluzione delle tecnologie di selezione e dei sistemi digitali apre nuove opportunità di ricerca sull'integrazione tra classificazione, tracciabilità e governance dei materiali.

Nel complesso, la tesi mostra come la qualità e la corretta classificazione del rottame metallico rappresentino elementi centrali per rafforzare l'economia circolare e la competitività industriale europea. Il rottame non è soltanto una risorsa disponibile in grandi quantità, ma una materia prima strategica il cui valore dipende dalla capacità del sistema di riconoscerne, qualificarne e valorizzarne le caratteristiche. In questa prospettiva, l'integrazione tra normativa, pratica industriale e innovazione tecnologica emerge come la chiave per trasformare il riciclo in un pilastro strutturale della transizione industriale europea.

Bibliografia

1. EUROFER. (2025). *European steel in figures 2025*. European Steel Association.
2. EuRIC. (2023). *Boosting steel scrap recycling in the EU – Debunking myths & setting a clear pathway to decarbonise steel through recycling*. European Recycling Industries Confederation.
3. Jattoni Dall'Asén, M. (2025, January 7). Riciclo alluminio, Braghi (Novelis): «L'Europa con la Cina rischia di perdere anche i rottami». *Corriere della Sera*.
4. FACE – Federation of Aluminium Consumers in Europe. (2025). *Position paper on aluminium scrap*. Brussels.
5. Li, Y., & Pu, Y. (2025). Pattern evolution and dynamic formation mechanism of global scrap copper trade network: Based on temporal exponential random graph model. *Ecological Economics*, 215, 108011.
6. Fathollahzadeh, K., Saeedi, M., Ghasempour Anaraki, M., & Rabiee, M. (2025). Sustainable cast iron supply chain network design: Robust multi-objective optimization with scenario reduction via genetic algorithm. *International Journal of Production Economics*.
7. European Aluminium. (2025). *A strategy for the long-term availability and quality of aluminium scrap in Europe*. European Aluminium Association.
8. Commissione Europea. (2023). *Proposta di regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio relativo alle materie prime critiche*.
9. EuRIC. (2021a). *Metal recycling factsheet*. European Recycling Industries Confederation.
10. EuRIC. (2021b). *Position on free trade of recycled metals*. European Recycling Industries Confederation.
11. Commissione Europea. (2007). *Comunicazione della Commissione – Criteri per la cessazione della qualifica di rifiuto (2007/C 191/01)*. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea.

12. Cai, L., Zhang, J., & Liu, H. (2023). *Global scrap flows and criticality of recycled metals*. *Resources Policy*, 83, 103723.
13. Stahleisen GmbH. (2020). *The impact of scrap upgrading on EAF production cost and environmental performance*. Verlag Stahleisen GmbH.
14. Xu, W., Xu, P., Zhang, L., Zhang, Y., Chen, J., Zhang, R., & Xu, Y. (2023). Classification and rating of steel scrap using deep learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 117, 105508.
15. Muchivà, L., & Eder, P. (2010). *End-of-waste criteria for iron and steel scrap*. Joint Research Centre, European Commission.
16. European Parliament & Council of the European Union. (2000). *Directive 2000/53/EC on end-of-life vehicles*.
17. Cossu, R., & Lai, T. (2015). *Automotive shredder residue (ASR) management: An overview*. Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Padova.
18. Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., & Anderson, P. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, 575(7781), 75–86.
19. European Commission. (2020). *A new circular economy action plan: For a cleaner and more competitive Europe*. Brussels.