



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Gestione dei veicoli fuori uso: Promuovere la standardizzazione

Gabriela Velázquez Del Río

Tesi di dottorato

Università Sapienza di Roma

Facoltà di Economia

Dipartimento di Management, Banking,
and Commodity Sciences

XXXVIII Ciclo

Anno accademico 2025-2026



SELDOM

“Researching with intuition”



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Gestione dei veicoli fuori uso: Promuovere la standardizzazione

Dottoranda:

Gabriela Velázquez Del Río

Supervisore:

Prof. Francesco Bellini

Università Sapienza di Roma

Facoltà di Economia

Dipartimento di Management, Banking, and Commodity Sciences

XXXVIII Ciclo

Anno accademico 2025-2026

Edizione italiana 2026

Copyright e Licenza

© 2026 Gabriela Velázquez del Río

ISBN 979-12-243-5427-7

Questa tesi è distribuita sotto la licenza Creative Commons Attribution–NonCommercial–NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).

L'opera può essere consultata, scaricata, riprodotta e citata per scopi scientifici e non commerciali, a condizione che venga data una corretta attribuzione all'autore.

Non sono consentite modifiche, adattamenti o usi commerciali di quest'opera senza la previa autorizzazione scritta dell'autore.

Avviso dell'autore

Il quadro metodologico intitolato "*Modello LAMPONE*" costituisce un contributo originale dell'autore. Qualsiasi implementazione operativa, digitale o commerciale basata sulla struttura procedurale descritta in questa tesi richiede l'autorizzazione scritta preventiva dell'autore.

Nota editoriale e sull'aggiornamento normativo

La presente tesi, *Gestione dei veicoli fuori uso: Promuovere la standardizzazione*, è stata sviluppata nel periodo 2022–2026, con riferimento al quadro normativo europeo vigente durante la ricerca, in particolare alla Direttiva 2000/53/CE.

Nel luglio 2026, il lavoro è stato aggiornato sulla base del testo legislativo PE-CONS 13/26, precedente all'attribuzione della numerazione ufficiale del Regolamento (UE) 2026/1738 dell'8 luglio 2026, relativo ai requisiti di circolarità per la progettazione dei veicoli e alla gestione dei veicoli fuori uso. I riferimenti alla precedente direttiva sono mantenuti per coerenza storica e metodologica.

La versione originale, intitolata *Management of end-of-life vehicles: Promoting standardization*, è stata redatta in inglese e depositata nel Catalogo dei Prodotti della Ricerca della Sapienza Università di Roma, consultabile all'indirizzo:

<https://iris.uniroma1.it/handle/11573/1776235>

Le edizioni italiana e spagnola sono destinate alla distribuzione digitale (PDF) attraverso <https://seldom.it>, con l'obiettivo di ampliare l'accessibilità e la diffusione dei risultati della ricerca, preservando l'impostazione scientifica e metodologica dell'opera originale.

Dedica

A mio padre, che ho perso durante questo percorso di dottorato,
e alla vita che cresceva dentro di me, che mi ha dato la forza di completarla.
Ogni fine della vita porta anche nuova vita.

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia sincera gratitudine al mio supervisore, **il Prof. Francesco Bellini**, per la sua guida, il suo sostegno e il suo continuo incoraggiamento durante tutta questa ricerca dottorale. Le sue intuizioni e i suoi consigli sono stati fondamentali nel plasmare sia la direzione accademica sia la rilevanza pratica di questo lavoro.

Sono inoltre grata al **Programma di Dottorato in** Dipartimento di Management, Banking, and Commodity Sciences presso **l'Università Sapienza di Roma** per aver fornito l'ambiente accademico e il supporto istituzionale necessario a condurre questa ricerca. La borsa di studio ha reso possibili le attività di lavoro sul campo, le visite internazionali e la raccolta dati che costituiscono la base di questo studio.

I miei ringraziamenti speciali vanno a **Pomili Demolizioni Speciali S.R.L., Luca Pomili e a tutta la sua squadra** per la loro apertura e collaborazione durante il case study e per aver concesso l'accesso ai processi operativi e ai dati. Vorrei inoltre ringraziare i professionisti del settore dello smantellamento, in particolare **Anselmo Calò, Direttore dell'ADA (Associazione Nazionale Demolitori Autoveicoli)**, così come gli Impianti di Trattamento Autorizzate che hanno partecipato all'indagine nazionale. La loro disponibilità e conoscenza pratica sono state essenziali per comprendere le reali sfide operative del settore.

Sono particolarmente grata alle associazioni industriali e agli stakeholder che hanno contribuito con la loro esperienza e il loro tempo, così come ai professionisti che hanno condiviso la loro esperienza durante osservazioni sul campo in **Italia, Belgio e Spagna**, contribuendo a contestualizzare la ricerca all'interno del più ampio quadro normativo europeo.

Infine, desidero ringraziare la mia famiglia e il padre di mio figlio per il loro sostegno e la comprensione durante il completamento di questa tesi.

Abstract

Questa tesi esamina le sfide di accountability e standardizzazione nel settore europeo dello smantellamento dei veicoli fuori uso (ELV) durante la sua transizione dalla Direttiva 2000/53/CE a un quadro normativo più rigoroso. Affronta **tre questioni interconnesse**: **i)** l'assenza di standardizzazione metodologica nelle procedure di smantellamento, **ii)** la rendicontazione dei dati da parte degli impianti europei di autodemolizione e **iii)** l'insufficiente preparazione del settore all'aumento previsto dei veicoli elettrici e ibridi.

Lo studio è guidato da due domande di ricerca: **(RQ1)** Quale quadro può essere adottato per migliorare l'accountability nello smantellamento dei veicoli fuori uso (ELV)? e **(RQ2)** In che modo la standardizzazione migliora l'efficienza e la preparazione degli Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF) per gli ELV nell'Unione Europea?

L'**identificazione della lacuna nella ricerca** era necessaria per comprendere le disparità nelle pratiche operative e regolatorie ed è stata supportata da osservazioni esplorative sul campo condotte in **Italia, Belgio e Spagna**. Sono stati quindi adottati tre approcci metodologici complementari. Per prima cosa, **una revisione sistematica della letteratura**, che evidenzia l'uso limitato dei codici europei dei rifiuti nella ricerca accademica. In secondo luogo, uno **studio di caso sull'Analisi dei Flussi di Materiali (MFA)** a un impianto italiano, verificando la conservazione della massa e portando allo sviluppo del **Modello LAMPONE**, un quadro replicabile che integra la verifica del bilancio di massa con la mappatura **del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC)**. In terzo luogo, un'**indagine nazionale** sulla preparazione degli impianti italiani a gestire gli ELV ad alta tensione, rivelando strategie di sostenibilità frammentate e lacune di competenza tecnica.

I risultati indicano che **la standardizzazione operativa è essenziale per il rispetto degli obblighi di Responsabilità Estesa del Produttore**. Traducendo i requisiti normativi in procedure ripetibili, il **Modello LAMPONE** migliora trasparenza, comparabilità e affidabilità dei dati, supportando politiche basate su evidenze scientifiche e favorendo l'allineamento del settore dello smantellamento agli obiettivi dell'economia circolare del Green Deal Europeo.

Parole chiave

160104*, Veicoli Fuori Uso, Gestione dei rifiuti, Standardizzazione

Indice

Capitolo 1: Introduzione	10
1.1 Motivazione alla ricerca	10
1.2 Enunciato del problema	13
1.3 Domande e obiettivi di ricerca.....	13
1.4 Rilevanza scientifica e contributi.....	14
1.5 Portata e limitazioni	15
1.6 Struttura della tesi	15
Capitolo 2: Contesto concettuale e normativo	17
2.1 Standardizzazione nei sistemi industriali e nella gestione dei rifiuti.....	17
2.1.1 Il concetto di standardizzazione: definizione e dimensioni.....	17
2.1.2 Standardizzazione nelle Operazioni Industriali	18
2.1.3 Standardizzazione nella governance ambientale e nella gestione dei rifiuti	19
2.2 Smantellamento dei veicoli fuori uso	20
2.2.1 Veicoli Fuori Uso (ELV).....	20
2.2.2 Impianti di trattamento autorizzate (ATF).....	20
2.3 Quadro normativo europeo	21
2.3.1 Direttiva sui veicoli fuori uso 2000/53/CE trasformata in un Regolamento, perché? ..	21
2.4 Direttiva sui veicoli fuori uso 2000/53/CE	22
2.4.1 Quadro Standardizzato per gli autodemolitori (ATF) dalla Direttiva	24
2.4.2 Pilastri Fondamentali della Gestione ELV	26
2.5 Regolamentazione ELV: PE-CONS 26/13	27
2.5.1 Fattori di impatto economico, sociale e ambientale per una regolamentazione	29
2.5.2 Struttura generale del nuovo regolamento	30
2.5.3 Standardizzare gli elementi basati sui pilastri fondamentali della gestione ELV	33
2.6 Regolamento sulle batterie 2023/1542	38
2.6.1 Modello standardizzato di gestione delle batterie per ATF di ELV	38
2.7 Decisione Europea 2000/532/CE Catalogo Europeo dei Rifiuti.....	39
2.7.1 Perché è importante lo smantellamento standardizzato dei veicoli fuori uso (ELV)? ..	39
2.7.2 Analisi del flusso del materiale	40
2.8 Identificazione della lacuna nella ricerca	41
2.8.1 Un modello di smantellamento per veicoli di fine vita (ELV)	41
2.8.2 Osservazioni sul campo: Sistemi, retribuzione e differenze tra Belgio, Italia e Spagna	43
2.8.3 Trasposizione nazionale della Direttiva ELV.....	55
2.8.4 Conclusioni tratte da osservazioni.	61
Capitolo 3 Metodologia della ricerca	62
3.1 Progettazione della Ricerca	62
3.2 Domande di ricerca e allineamento metodologico	63

Capitolo 4 Revisione sistematica della letteratura.....	64
4.1 Metodologia della revisione sistematica della letteratura.....	64
4.1.1 Categorizzazione degli articoli per ambito di ricerca.....	65
4.2 Analisi finale.....	68
Capitolo 5 Studio di caso: Metodologia, sviluppo e applicazione del modello Lampone.....	71
5.1 Metodologia di progettazione dello studio di caso.....	72
5.1.1 Research setting: Pomili Demolizioni Speciali SRL	72
5.1.2 Veicolo fuori uso	72
5.1.3 Procedure di raccolta dati.....	72
5.1.4 Metodologia dell'Analisi del Flusso di Materiali (MFA).....	72
5.1.5 Mappatura del codice dei rifiuti: Framework del modello Lampone	73
5.2 Costruzione del modello Lampone.....	73
5.2.1 Struttura	74
5.2.2 Funzionalità.....	76
5.3 Risultati dello Studio di Caso	77
5.4. Analisi del flusso di materiali.....	78
5.4.1 Input di materiale	78
5.4.2 Output dei materiali	78
5.5 Verifica del bilancio di massa.....	79
5.6 Applicazione del modello Lampone.....	79
5.6.1 Matrice del modello Lampone.....	79
5.6.2 Visualizzazione del modello Lampone	81
5.6.3 Residui di frantumazione automobilistica (ASR) e perdita di trattamenti (TL)	81
5.7 Valutazione delle prestazioni di riutilizzo e riciclo	83
5.8 Valore strategico del modello Lampone.....	84
Capitolo 6: Preparazione degli ATF italiani allo smantellamento dei veicoli elettrici e ibridi	85
6.1 Quota di mercato dei veicoli elettrici nell'Unione Europea, gestione delle batterie e standardizzazione digitale.....	85
6.1.1 Differenze tra BEV, HEV e PHEV.....	87
6.2 Metodologia dell'indagine	88
6.2.1 Progettazione dell'indagine.....	88
6.2.2 Distribuzione del questionario.....	89
6.2.3 Limitazioni dei dati.....	90
6.2.4 Analisi dei Dati.....	91
6.3 Risultati dell'analisi.....	91
6.3.1 Profilo strutturale e organizzativo dei rispondenti.....	91
6.3.2 Esposizione attuale a veicoli elettrici e ibridi	92
6.3.3 Infrastruttura Tecnica e Preparazione operativa.....	93
6.3.4 Capitale Umano e Preparazione alla Formazione	94
6.3.5. Conoscenza della Regolamentazione delle batterie (2023/1542)	95

6.3.6 Conoscenza del Battery Passport e preparazione digitale	96
6.3.7 Limitazioni all'implementazione del Battery passport	97
6.3.8 Classificazione dei Codici Europei dei Rifiuti.....	97
6.3.9 Gestione a valle e cooperazione industriale.....	98
6.3.10 Prospettive future sulla preparazione e sulla capacità operativa.....	99
6.3.11 Bisogni di supporto e aspettative politiche	100
6.4 Sintesi dei risultati dell'indagine.....	100
Capitolo 7 Discussione e Conclusioni.....	103
7.1 Logica della ricerca e interpretazione dei risultati.....	103
7.2 RQ1: Un quadro per l'accountability nello smantellamento dell'ELV	104
7.3 RQ2: Standardizzazione, Efficienza e Preparazione degli ATF	105
7.4 Conclusioni	106
Riferimenti Bibliografici	109

Capitolo 1: Introduzione

1.1 Motivazione alla ricerca

Nel 2020, l'economia globale ha subito una significativa disordinazione, che ha evidenziato vulnerabilità all'interno dell'industria automobilistica, in particolare poiché i produttori automobilistici sono stati costretti a fermare la produzione a causa della carenza di microchip essenziali per l'assemblaggio dei veicoli. (Mohammad et al., 2022)

(Istituto di Kiel, 2026) I dazi più elevati su veicoli, componenti, acciaio e alluminio, che insieme costituiscono circa il 60% del peso di un veicolo, stanno aggravando le pressioni sui costi e indebolendo l'industria automobilistica europea in vari paesi.

Storicamente, due modelli gestionali di rilievo hanno plasmato la produzione di veicoli: il Ford Model e il Lean Model, resi popolari da Toyota. **Il miglioramento continuo** ha permesso all'industria di soddisfare l'elevata domanda, dall'allocazione delle risorse alle esigenze di forza lavoro per la produzione di un singolo tipo di veicolo. Tuttavia, con l'aumento della diversità dei modelli, la complessità del settore cresce, spostando l'attenzione **dal miglioramento continuo all'accelerazione continua del progresso** tecnologico.

I governi hanno risposto alle preoccupazioni ambientali con incentivi che mirano specificamente a determinati settori, come il sostegno alla produzione e all'adozione di veicoli elettrici. Queste iniziative includono benefici come i parcheggi preferiti per veicoli elettrici e ibridi, riflettendo un cambiamento strategico all'interno del settore automobilistico verso pratiche più sostenibili.

Tuttavia, mentre attenzione e risorse sono principalmente rivolte ai produttori, gli smantellatori di veicoli, fondamentali nella gestione dei grandi volumi di materiali provenienti da veicoli ritirati, restano in gran parte trascurati. Questo gruppo ha **affrontato sfide storiche, tra cui la mancanza di modelli operativi efficienti, opportunità di formazione limitate, incentivi statali minimi e supporto tecnologico inadeguato**. Di conseguenza, esiste uno **squilibrio significativo nel trattamento degli smantellatori di veicoli rispetto ai produttori**, evidenziando la necessità di un maggiore riconoscimento e supporto per il loro ruolo essenziale nell'ecosistema automobilistico.

Questa ricerca è stata motivata dalla trasformazione in corso **osservata a Roma, Italia**, e dalla rapida emergere di stazioni di ricarica elettrica che hanno evoluto il panorama dei trasporti urbani.

Questa osservazione è ora supportata da evidenze statistiche che confermano la rapida crescita dell'adozione dei veicoli elettrici e l'espansione delle infrastrutture di ricarica in Italia. Si registra un aumento del 44% del numero di punti di ricarica rispetto al 2023, per un totale di 22.369 unità. L'ultimo rapporto, di dicembre 2025, mostra che l'Italia conta 73.047 punti di ricarica accessibili al pubblico. (“Le infrastrutture di ricarica a uso pubblico in Italia Settima edizione,” 2026)

In Europa, la flotta di veicoli elettrici a batteria (BEV) ha superato i 950.521 veicoli nella prima metà del 2026, il 20% in più rispetto all'anno precedente. Le immatricolazioni ibride-elettriche (HEV) sono salite a 1.795.071 veicoli. Questo riflette una preferenza più forte per gli ibridi rispetto ai BEV. L'Italia è in testa nell'adozione sul mercato rispetto ad altri paesi dell'UE. (“Nuove immatricolazioni auto,” 2026)

Questi dati dimostrano che la transizione verso l'elettrificazione dei veicoli non è più una prospettiva futura, ma un cambiamento strutturale in corso.

Con l'evoluzione della flotta di veicoli, sorgono dubbi **sul fatto che le strutture di smantellamento esistenti possiedano le competenze, le attrezzature e le infrastrutture necessarie per gestire l'afflusso crescente di veicoli elettrici e ibridi che raggiungono la fine della loro vita operativa.**

In questo contesto, la ricerca mira a valutare la preparazione e l'adattabilità di queste strutture, essenziale per garantire una transizione efficiente alla mobilità elettrica. Inoltre, lo studio svilupperà un modello di smantellamento che garantisca un approccio sistematico in conformità con il recente Regolamento **approvato dal Parlamento Europeo e dal Consiglio sui requisiti di circolarità per la progettazione dei veicoli e sulla gestione dei veicoli in fine vita.**

Il nuovo Regolamento sugli ELV stabilisce il quadro per il trattamento e il recupero dei veicoli in fine vita (ELV) all'interno dell'Unione Europea. Questo **regolamento** stabilisce requisiti per la gestione degli ELV, con l'obiettivo di ridurre i rifiuti e promuovere il riciclo e il recupero dei materiali. In particolare, il regolamento attualmente fissa **l'85% per il riutilizzo/riciclo e il 95% per il riutilizzo/recupero** in base al peso medio per veicolo. **(escluse batterie).** Gli ATF devono rispettare un obiettivo specifico di riciclaggio **del 30% delle materie plastiche provenienti da veicoli in fine vita.** Mentre i produttori di veicoli devono integrare il 25% di plastica riciclata nei **nuovi veicoli.**

Sebbene la **Direttiva 2000/53/CE** non sia l'ultima legge in vigore, è ancora valida fino all'entrata in vigore del nuovo Regolamento, che avverrà dopo 2 anni. Nonostante la Direttiva persistano notevoli disparità tra gli Stati membri dell'UE riguardo **all'esecuzione, alla**

documentazione e alla misurazione delle attività di smantellamento. Queste differenze riguardano il modo in cui i materiali vengono separati, registrati e riportati, il che, a sua volta, limita la comparabilità e la trasparenza dei dati sui trattamenti dei VFU. La mancanza di una metodologia unificata per il monitoraggio dei flussi dei materiali ostacola la verifica della conformità ai principi di bilancio massico e classificazione dei rifiuti, fondamentali per valutare le prestazioni ambientali e raggiungere gli obiettivi di riciclaggio.

La discussione sulla trasformazione della direttiva in un regolamento è già un discorso passato. Un tale cambiamento avrebbe implicazioni per armonizzare le pratiche e garantire una maggiore coerenza nell'attuazione e nell'applicazione degli standard di trattamento dei VFU in tutta l'Unione Europea.

L'industria dello smantellamento dei veicoli fuori uso è composta principalmente da Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF), che sono piccole o medie imprese familiari che si affidano all'esperienza piuttosto che a procedure formalizzate. Attrezzature, sistemi di raccolta dati e standard di rendicontazione variano notevolmente, portando a una comparabilità e trasparenza limitate. Nel frattempo, il settore automobilistico sta aumentando il numero di veicoli elettrici (EV) e tecnologie ibride. Questo porrà nuove sfide tecniche e ambientali per i smantellatori, che dovranno gestire batterie ad alta tensione, componenti sconosciuti e nuovi materiali.

Date le sfide e le incongruenze precedentemente discusse, è chiaro bisogno di un quadro armonizzato e scientificamente fondato per lo smantellamento dei veicoli a fine vita (ELV). **Questa ricerca risponde a** questa esigenza sviluppando una metodologia iniziale che integri i requisiti legislativi attuali, la terminologia scientifica consolidata e i risultati derivati da uno studio di caso e osservazioni dirette dei processi di smantellamento.

Un elemento centrale del quadro proposto è **il principio di conservazione della massa, che sostiene che "la materia non può essere creata o distrutta, solo trasformata."** Applicando questo principio, la ricerca esamina sistematicamente come i materiali vengono classificati, gestiti e trasferiti durante la fase di smontaggio, prima che passino a trattamenti a valle, vie di riutilizzo o rimano fattura.

Questa metodologia riconosce che tutti i materiali generati durante lo smantellamento devono essere contabilizzati e indirizzati verso una destinazione appropriata. Così facendo, pone le basi per migliorare trasparenza, tracciabilità e sostenibilità in tutto il settore dello smantellamento dei veicoli di forte durata.

1.2 Enunciato del problema

Sebbene esista una legislazione europea, lo smantellamento degli ELV rimane non standardizzato. Gli approcci adottati dagli ATF per misurare, classificare e segnalare i prodotti dei materiali variano significativamente tra i paesi e persino tra le strutture della stessa regione. Questo fattore influisce sulla comparabilità dei dati, ostacola valutazioni ambientali accurate e complica il monitoraggio degli obiettivi di riciclo.

Inoltre, la crescente diffusione di veicoli elettrici e ibridi ha introdotto ulteriore complessità. La maggior parte degli ATF è stata originariamente progettata per processare veicoli a combustione tradizionali e generalmente non è dotata degli strumenti, della formazione o delle infrastrutture necessarie per smantellare i veicoli elettrici, in particolare le batterie ad alta tensione. In assenza di una guida metodologica e tecnica coordinata, esiste un rischio maggiore di inefficienze, **incoerenze nei dati e preoccupazioni per la sicurezza**.

Di conseguenza, **questa ricerca affronta tre questioni interconnesse: i)** l'assenza di standardizzazione metodologica nelle procedure di smantellamento, **ii)** la rendicontazione dei dati da parte degli impianti europei di autodemolizione e **iii)** l'insufficiente preparazione del settore all'aumento previsto dei veicoli elettrici e ibridi.

1.3 Domande e obiettivi di ricerca

Questa ricerca pone due domande chiave che esplorano sia gli **aspetti metodologici che politici** dello smantellamento dei veicoli fuori uso (ELV) all'interno dell'Unione Europea.

RQ1. *Quale quadro può essere adottato per migliorare l'accountability nello smantellamento dei veicoli in fine vita (ELV)?*

RQ2. *In che modo la standardizzazione migliora l'efficienza e la preparazione degli Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF) per gli ELV nell'Unione Europea?*

Per affrontare **RQ1**, lo studio applica una **revisione sistematica della letteratura**; in questo studio fornisce prove del **sottoutilizzo dei codici dei rifiuti nel mondo accademico**. In secondo luogo, è stata condotta un'Analisi del Flusso dei Materiali (MFA) all'interno di uno studio di caso italiano, **Pomili Demolizioni Speciali S.R.L.**, per quantificare gli input e output dei materiali e per verificare il principio di conservazione della massa nello smantellamento degli ELV. Sulla base di questa analisi, il **Modello LAMPONE** è stato sviluppato come un quadro metodologico **che integra la verifica del bilancio di massa con la mappatura del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC)** per migliorare la accountability, la tracciabilità e la

comparabilità dei processi di smantellamento. Vengono discusse le limitazioni di questo quadro e le opportunità di ulteriore perfezionamento.

Invece, **RQ2** viene affrontata attraverso una combinazione di attività esplorative ed empiriche. **In primo luogo**, nel Capitolo 2 vengono **presentate osservazioni comparative di campo condotte in Italia, Belgio e Spagna** per identificare la lacuna nella ricerca. Queste osservazioni sono di natura esplorativa e servono a contestualizzare le differenze nell'attuazione normativa e nelle pratiche operative tra gli Stati membri. Non costituiscono un'analisi comparativa autonoma, ma orientano piuttosto la progettazione e il focus dell'indagine empirica.

In secondo luogo, lo studio **valuta la preparazione degli ATF italiani a gestire ELV elettrici e ibridi** attraverso un'indagine nazionale specifica per il settore. Questa valutazione esamina i livelli attuali di attrezzature, formazione specializzata, conoscenze normative e competenze tecniche tra gli ATF in relazione alle tecnologie emergenti dei veicoli.

Sulla base dei risultati combinati di queste componenti di ricerca, lo studio sviluppa raccomandazioni e linee guida politiche per supportare l'implementazione di pratiche di smantellamento dell'ELV più standardizzate, trasparenti ed efficienti. **Queste raccomandazioni** sono in linea con le strategie europee di economia circolare e le aspettative normative in evoluzione, ed evidenziano come **la standardizzazione possa migliorare l'efficienza operativa e la preparazione**, affrontando al contempo le sfide strutturali identificate durante l'analisi.

1.4 Rilevanza scientifica e contributi

Il contributo scientifico di questa ricerca risiede nel colmare il divario tra gli approcci teorici e le reali operazioni di smantellamento industriale. Sebbene l'analisi dei flussi di materiali (MFA) sia ben consolidata negli studi sull'efficienza delle risorse e nella gestione dei rifiuti, la sua implementazione a livello operativo delle singole strutture di smantellamento dei veicoli rimane poco esplorata e insufficientemente standardizzata. In risposta, questa ricerca introduce il Modello LAMPONE, che integra i principi MFA con il Catalogo Europeo dei Rifiuti per fornire un approccio strutturato e replicabile per quantificare e tracciare i flussi di materiali durante lo smantellamento ELV.

Il Modello LAMPONE è un quadro scientificamente fondato e praticamente replicabile per quantificare e tracciare i flussi di materiale durante lo smantellamento degli ELV **per uno o più ELV**. Integrando i principi di conservazione della massa con le classificazioni dei codici regolatori dei rifiuti, il modello migliora trasparenza, comparabilità e standardizzazione tra gli

ATF. Questo rappresenta un contributo metodologico innovativo, che consente la accountability dei materiali a livello micro-operativo.

Inoltre, la ricerca fornisce una valutazione diagnostica della preparazione del settore all'elettro mobilità, basata su un'indagine mirata sugli ATF italiani. Attraverso questa valutazione, lo studio indaga i livelli attuali di conoscenza tecnica, formazione, infrastrutture e attrezzature per la gestione di veicoli elettrici e ibridi.

In conclusione, **la rilevanza accademica è offrire una base metodologica a supporto di pratiche di smantellamento armonizzate e scientificamente coerenti**, e una visione pratica della capacità del settore di adattarsi alle sfide tecnologiche, ambientali e normative emergenti.

In questo modo, questa ricerca non solo promuove la comprensione accademica, ma supporta anche lo sviluppo di politiche basate su evidenze, linee guida industriali e iniziative di standardizzazione all'interno del settore europeo dello smantellamento dei veicoli fuori uso.

1.5 Portata e limitazioni

Questa ricerca si concentra sugli Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF) all'interno dell'Unione Europea, con ricerche di campo empiriche condotte in **Italia, Belgio e Spagna**. L'applicazione quantitativa dell'analisi del flusso di materiali (MFA) è specificamente limitata alla struttura italiana Pomili Demolizioni Speciali S.R.L.

Analogamente, l'indagine settoriale **che valuta la preparazione ATF per smantellare veicoli elettrici e ibridi è stata distribuita esclusivamente in Italia** per mantenere l'allineamento con il caso di studio principale e garantire la comparabilità dei dati e la coerenza contestuale.

Sebbene i risultati forniscano spunti che possono essere rilevanti per altri Stati membri dell'UE, le limitazioni derivano da variazioni regionali nella legislazione, nella qualità dei dati e nelle pratiche operative, che limitano la generalizzazione ampia delle conclusioni.

Tuttavia, queste divergenze rafforzano e convalidano l'argomento centrale di questa tesi: l'urgente necessità di metodologie armonizzate e standardizzate per smantellare il VFI in tutta l'Unione Europea.

1.6 Struttura della tesi

Questa tesi è organizzata in **sette capitoli** che seguono la progressione logica e cronologica dalle basi concettuali all'analisi empirica e alla sintesi. Dopo questo capitolo introduttivo, il **Capitolo 2** offre informazioni di base essenziali sulla standardizzazione e il quadro normativo

per i veicoli fuori uso (ELV). Include un confronto completo delle pratiche di smantellamento in Italia, Belgio e Spagna, evidenziando le differenze metodologiche e sottolineando la necessità di una standardizzazione europea nel trattamento degli ELV. **Il Capitolo 3** presenta il quadro metodologico della ricerca e descrive l'approccio a metodi misti impiegato nello studio. Questo combina tecniche quantitative e qualitative, tra cui la revisione della letteratura, l'Analisi del Flusso dei Materiali (**MFA**) e un'indagine settoriale. L'indagine empirica inizia con il **Capitolo 4**, che fornisce una revisione sistematica della letteratura sull'uso attuale di EWC e quadri simili nella ricerca accademica relativa all'ELV. **Il Capitolo 5** presenta lo studio di caso di Pomili Demolizioni Speciali S.r.l. Applicando l'MFA al processo di smantellamento ELV, questo capitolo quantifica gli input e output materiali e introduce il Modello LAMPONE, uno strumento metodologico progettato per migliorare la tracciabilità e la comparabilità nelle operazioni di smantellamento. **Il Capitolo 6** presenta e analizza i risultati del sondaggio che valutano la preparazione dell'ATF italiano per veicoli elettrici e ibridi, con enfasi su attrezzature, protocolli di sicurezza, formazione e conoscenze tecnologiche. Infine, **il Capitolo 7** riassume i risultati discutendo i risultati e i limiti della standardizzazione delle pratiche di smantellamento dell'ELV in tutta Europa. Questo capitolo conclusivo delinea anche le future direzioni di ricerca e le implicazioni politiche.

Capitolo 2: Contesto concettuale e normativo

Questo capitolo delinea il contesto teorico e normativo per la standardizzazione nello smantellamento dei VFU. Copre concetti chiave dalla standardizzazione industriale, alla governance ambientale e alla gestione dei rifiuti. Inoltre, offre uno sguardo approfondito sul quadro normativo per gli ELV, a partire dalla Direttiva 2000/53/EC, poiché è stata il primo elemento dell'industria e la sua continua trasformazione in un Regolamento europeo vincolante. Il capitolo identifica inoltre la lacuna nel settore attraverso l'osservazione e la conclusione. Esamina le principali fonti accademiche, istituzionali e tecniche che supportano la base teorica della tesi.

2.1 Standardizzazione nei sistemi industriali e nella gestione dei rifiuti

2.1.1 Il concetto di standardizzazione: definizione e dimensioni

L'**Organizzazione Internazionale per la Normalizzazione (ISO)** definisce la standardizzazione come l'attività di stabilire e applicare regole per raggiungere un grado ottimale di ordine in ogni contesto. (*ISO - Informazioni su ISO*, s.d.; *Rapporto Sintetico sull'Attuazione della Direttiva VFF per i periodi 2008-2011 e 2011-2014*, s.d.). Da un punto di vista industriale, la standardizzazione facilita l'allineamento di processi, prodotti e flussi informativi, consentendo la scalabilità e riducendo i costi di transazione. (Blind, 2004). La standardizzazione è da tempo riconosciuta come un meccanismo fondamentale per raggiungere interoperabilità, efficienza, assicurazione della qualità e coordinamento tra sistemi complessi. (Swann, 2010).

Nelle operazioni e **Letteratura gestionale**, la standardizzazione è frequentemente associata al controllo di processo, **produzione snella e sistemi di gestione della qualità**. Riducendo la variabilità e codificando le procedure, la standardizzazione supporta riproducibilità, misurazione delle prestazioni, e **miglioramento continuo**. (Flynn et al., 1995) (Shah & Ward, 2003) Dal punto di vista della teoria dei sistemi, la standardizzazione funge da meccanismo stabilizzante che consente la coordinazione tra attori e sottosistemi eterogenei. (Brunsson & Jacobsson, 2002)

È importante notare che la standardizzazione non è una costruzione unidimensionale. Può essere analiticamente scomposta in almeno quattro dimensioni interconnesse:

Standardizzazione tecnica Prevede la specificazione di attrezzature, materiali e tecnologie, mentre la standardizzazione procedurale si concentra sull'armonizzazione dei

processi operativi e dei flussi di lavoro. Inoltre, **Standardizzazione informativa** si occupa della strutturazione, formattazione e classificazione dei dati. Infine, **Standardizzazione normativa** Comprende requisiti di armonizzazione legale e conformità, tutti elementi cruciali per snellire le operazioni e garantire la coerenza tra i vari ambiti (David & Greenstein, 1990)

Questa comprensione multidimensionale è particolarmente rilevante per i sistemi ambientali e di gestione dei rifiuti, dove processi fisici, rendicontazione dei dati e obblighi normativi si intersecano (*Argomenti avanzati negli standard e nella ricerca sulla standardizzazione delle tecnologie dell'informazione. Volume 1*, 2006). In tali contesti, la standardizzazione non serve solo a obiettivi efficienti, ma anche **sostiene trasparenza, accountability ed efficacia delle politiche** (Timmermans & Epstein, 2010).

2.1.2 Standardizzazione nelle Operazioni Industriali

La relazione tra standardizzazione ed efficienza è ben consolidata nella letteratura sulla gestione delle operazioni e nell'ingegneria industriale. I processi standardizzati riducono la variabilità dei processi, migliorano la prevedibilità e facilitano il benchmarking delle prestazioni (Slack et al., 2016). Codificando le migliori pratiche ed eliminando procedure idiosincratiche, la standardizzazione consente alle organizzazioni di raggiungere economie di scala, migliorare l'utilizzo delle risorse e ridurre i tassi di errore.(Adler & Cole, 1993).

Nel contesto manifatturiero, è stato dimostrato che la standardizzazione supporta modularizzazione, automazione e integrazione di processi, tutte cose fondamentali per gestire la complessità in ambienti ad alto volume e alta variabilità (Fixson, 2007). La diffusione di procedure di lavoro standardizzate è anche una pietra angolare di **Sistemi di produzione snella**, fungendo da punto di riferimento per il miglioramento continuo e la risoluzione dei problemi (Womack & Jones, 1996).

Oltre ai guadagni di efficienza interna, la standardizzazione facilita la standardizzazione **Coordinamento inter-organizzativo** stabilendo linguaggi, interfacce e aspettative condivise. Questo è particolarmente rilevante nelle catene del valore caratterizzate da molteplici attori e supervisione normativa, dove la mancanza di standardizzazione può portare ad asimmetrie informative, rischi di conformità e inefficienze operative. (Humphrey & Schmitz, 2001)

Nel contesto delle operazioni di smantellamento e riciclo, l'efficienza non si limita alla capacità di produzione o alla riduzione dei costi, ma comprende anche l'ottimizzazione **del recupero dei materiali, la minimizzazione dei rischi ambientali e l'affidabilità della generazione dei dati**. La standardizzazione diventa quindi una leva strategica per allineare le prestazioni operative agli obiettivi ambientali e normativi.

2.1.3 Standardizzazione nella governance ambientale e nella gestione dei rifiuti

All'interno della governance ambientale, la standardizzazione svolge un ruolo cruciale nel permettere la comparabilità, la trasparenza e l'applicazione delle politiche. (Gupta & Mason, 2014). La regolamentazione ambientale si basa sempre più su **metriche standardizzate, classificazioni e sistemi di rendicontazione per monitorare la conformità, valutare le prestazioni e progettare interventi politici** (*Gli Indicatori di Governance Mondiale*, 2010).

Nella gestione dei rifiuti, la standardizzazione è particolarmente rilevante a causa dell'eterogeneità intrinseca dei flussi di rifiuti e della molteplicità degli attori coinvolti. I sistemi di classificazione dei rifiuti, i protocolli di segnalazione e gli standard di trattamento sono essenziali per garantire un'interpretazione coerente e l'applicazione dei requisiti normativi tra le giurisdizioni (Commissione Europea, 2018). **L'armonizzazione dei codici dei rifiuti è alla base della rendicontazione statistica, del controllo transfrontaliero delle spedizioni e della valutazione delle prestazioni di riciclo.**

Tuttavia, la letteratura evidenzia anche sfide persistenti associate a sistemi di classificazione frammentati, interpretazioni nazionali divergenti e linee guida operative limitate. **Gli studi hanno dimostrato che le incongruenze nelle pratiche di codifica e rendicontazione dei rifiuti possono compromettere la qualità dei dati, oscurare i flussi di materiali e indebolire l'efficacia delle politiche.** (*Potenziale di riduzione della CO2 nella gestione europea dei rifiuti*, s.d.) Questo problema si aggrava nei flussi di rifiuti complessi, come quelli generati dai prodotti in fine vita, dove i materiali sono incorporati in strutture composite e i processi di smantellamento variano notevolmente.

Inoltre, la crescente enfasi sulle strategie di economia circolare ha intensificato la necessità di **dati standardizzati sulla composizione dei materiali, i tassi di recupero e le materie prime secondarie.** (Murray et al., 2017) **Senza quadri armonizzati per la raccolta e la classificazione di tali dati, la capacità di monitorare i progressi verso gli obiettivi di circolarità rimane limitata.** Da questa prospettiva, la standardizzazione nella gestione dei rifiuti non è solo una questione tecnica, ma una sfida di governance. Richiede un allineamento tra quadri normativi, pratiche operative e sistemi informativi. L'assenza di tale allineamento può creare divari strutturali tra ambizione politica e capacità di implementazione.

2.2 Smantellamento dei Veicoli Fuori Uso

2.2.1 Veicolo Fuori Uso (ELV)

Un veicolo in fine vita (ELV) si riferisce a un'auto considerata rifiuto. Secondo la Direttiva 75/442/CEE Articolo 1, "rifiuto" indica qualsiasi sostanza o oggetto che il titolare smalti o deve smaltire secondo le disposizioni della legge nazionale in vigore.

I veicoli fuori uso (ELV) occupano una posizione strategica all'interno dell'agenda europea dell'economia circolare grazie alla loro elevata intensità dei materiali, composizione complessa e crescente rilevanza come serbatoi di materie prime secondarie. I veicoli contengono quantità significative di acciaio, alluminio, rame, plastica e, sempre più, materie prime critiche (CRM) come litio, cobalto, nichel ed elementi delle terre rare, incorporate in batterie, motori elettrici e componenti elettronici (Bobba et al., 2020). Di conseguenza, gli ELV hanno un notevole valore economico e strategico. I veicoli in fine vita (ELV) sono considerati rifiuti pericolosi a causa della presenza di vari materiali tossici e dannosi. Una gestione e uno smaltimento impropri di questi materiali possono portare a gravi rischi ambientali e per la salute, inclusi la contaminazione del suolo e dell'acqua e l'inquinamento atmosferico.

Il Piano d'Azione per l'Economia Circolare dell'Unione Europea identifica esplicitamente veicoli e batterie come gruppi di prodotti prioritari, sottolineando la necessità di migliorare la progettazione per la circolarità, migliorare il recupero dei materiali e garantire l'accesso alle materie prime secondarie. (Direzione Generale per l'Ambiente (Commissione Europea), 2020). Questo orientamento politico riflette un più ampio passaggio dalla gestione dei rifiuti alla gestione delle risorse, in cui le fasi di fine vita sono integrate nella governance del ciclo di vita del prodotto.

All'interno di questo **paradigma, lo smantellamento non è più l'attività finale** ma una fase critica di trasformazione in cui il valore può essere preservato, potenziato o irreversibilmente perso. L'efficacia delle operazioni di smantellamento influenza direttamente la qualità e la quantità dei materiali disponibili per il riutilizzo, la rimanifattura e il riciclo. Di conseguenza, **il grado di standardizzazione** applicato ai processi di smantellamento ha implicazioni sistemiche per la performance delle catene del valore circolari.

2.2.2 Impianti di trattamento autorizzate (ATF)

Gli Impianti di Trattamento Autorizzati (ATF) sono gli attori operativi principali responsabili della bonifica, dello smantellamento e della separazione iniziale dei materiali degli ELV. In quanto tali, rappresentano l'interfaccia **tra ambizione normativa e realtà operativa**. Mentre

attori a monte come produttori e decisori politici progettano strategie circolari, agli ATF viene affidato il compito di implementarle sotto vincoli tecnici, economici e organizzativi concreti.

La letteratura riconosce gli ATF come un collo di bottiglia nei sistemi di gestione ELV, a causa delle loro capacità eterogenee, dei diversi livelli di sofisticazione tecnologica e delle diverse interpretazioni dei requisiti normativi. (Sakai et al., 2014). In molti paesi europei, il settore dello smantellamento è caratterizzato da piccole e medie imprese, spesso operanti con automazione limitata e forte dipendenza dal lavoro manuale. (Cossu & Williams, 2015)

Questa frammentazione strutturale complica l'implementazione di procedure uniformi e mina la comparabilità delle prestazioni operative tra le strutture.

Dal punto di vista dei sistemi, gli ATF svolgono molteplici funzioni simultaneamente: protezione ambientale, recupero delle risorse, generazione dati e conformità normativa. Ciascuna di queste funzioni dipende dall'esistenza di **procedure standardizzate, classificazioni e flussi informativi**. Senza tale standardizzazione, gli ATF possono diventare punti vulnerabili.

La crescente complessità associata ai veicoli elettrici e ibridi amplifica ulteriormente questa sfida. Batterie ad alta tensione, elettronica e materiali compositi richiedono conoscenze specializzate, attrezzature e protocolli di sicurezza. In assenza di standard armonizzati, gli ATF possono adottare **Soluzioni ad hoc**, portando a variabilità nella qualità del trattamento e a un aumento dei rischi operativi. (Mayyas et al., 2012)

2.3 Quadro normativo europeo

2.3.1 Direttiva sui veicoli fuori uso 2000/53/CE trasformata in un Regolamento, perché?

Negli ultimi due decenni, sia la ricerca accademica che i quadri politici dell'UE hanno sempre più sottolineato la necessità di una migliore tracciabilità, standardizzazione e prestazioni ambientali nei processi di trattamento del VFU. Lo smantellamento dell'ELV costituisce una componente fondamentale dell'agenda dell'economia circolare dell'Unione Europea, che mira a massimizzare il recupero delle risorse e minimizzare i rifiuti nei sistemi industriali.

Nonostante i progressi ottenuti dall'attuazione della Direttiva 2000/53/CE, la direttiva stessa è ora ampiamente considerata insufficiente per affrontare le sfide contemporanee, soprattutto considerando l'ascesa dell'elettrificazione e la complessa composizione dei materiali dei veicoli. Sebbene sia in corso il passaggio legislativo verso la regolamentazione, la tempistica di attuazione rimane incerta. Questo capitolo chiarisce la motivazione per la regolamentazione e spiega i termini accademici e concettuali rilevanti per la tesi, stabilendo

una base definitoria e teorica comune che supporterà l'analisi e la discussione empirica successive.

2.3.1.1 Differenza tra Direttiva Europea e Regolamento

La governance ambientale nell'Unione Europea opera all'interno di un quadro giuridico e politico multilivello progettato per garantire la coerenza tra gli Stati membri, consentendo al contempo l'adattamento contestuale. Alla base, questo quadro distingue tra Regolamenti e Direttive, ciascuno svolgendo una funzione giuridica e strategica diversa.

I regolamenti rappresentano la forma più forte di diritto dell'UE, poiché si applicano automaticamente e uniformemente in tutti gli Stati membri una volta adottati. Il loro punto di forza risiede nell'eliminare l'ambiguità interpretativa e la variazione nazionale, garantendo così la piena armonizzazione delle regole.

Le direttive, al contrario, stabiliscono obiettivi comuni ma concedono agli Stati Membri flessibilità nel determinare come raggiungerli.

2.4 Direttiva sui veicoli fuori uso 2000/53/CE

Direttiva 2000/53/CE fornisce il principale quadro normativo per la gestione dei Veicoli di Fine Vita (ELV) in Europa, dettagliando i requisiti per la raccolta, il trattamento, il recupero e il riciclaggio. La Direttiva è stata pubblicata nel 2000, comprendente 13 articoli, insieme all'Allegato I e all'Allegato II, tutti presentati in nove pagine. Ogni articolo della Direttiva affronta una fase specifica del processo dei Veicoli di Fine Vita (ELV). Nel corso degli anni è sorta confusione a causa di varie modifiche. I seguenti **Tabella 1** rappresenta la versione più recente dal testo consolidato di **30 marzo 2023**. Il testo consolidato contiene 13 articoli; **Sono stati aggiunti gli articoli 9a e 10a.**(*Direttiva - 2000/53 - EN - EUR-Lex*, 2025)

Per gli ATF, la Direttiva definisce requisiti operativi specifici, tra cui la rimozione di componenti pericolosi, la segregazione dei materiali e il trattamento di fluidi e batterie. Introduce inoltre obiettivi quantitativi per il riutilizzo, il riciclo e il recupero, collegando così le prestazioni dello smantellamento a risultati misurabili.

Tabella 1. Direttiva sui veicoli fuori uso 2000/53/CE testo consolidato 30.03.2023

Articolo	Titolo dell'articolo	Elementi chiave da notare
Art.1	Obiettivi	Misure per l'ELV
Art.2	Definizioni	Termini relativi al trattamento e alla gestione dell'ELV
Art.3	Ambito d'applicazione	Applicazioni limitate a ELV, componenti, legislazione nazionale, importazioni, veicoli speciali e ruote.
Art.4	Prevenzione	Misure per sostanze e materiali pericolosi nei componenti dei veicoli.
Art.5	Raccolta	Sistema per raccogliere ELV, certificato di distruzione (CoD),
Art.6	Trattamento	Trattamento dei rifiuti basato sulla gerarchia dei rifiuti, permessi di trattamento, smaltimento pericoloso e bonifica. Certificazione per sistemi di gestione ambientale.
Art.7	Reimpiego e recupero	Obiettivi di reimpiego/recupero e reimpiego/riciclaggio
Art.8	Codifica e informazione per la demolizione	Codici standard per identificare materiali e componenti, per facilitare le informazioni per gli ATF.
Art.9	Relazione e informazioni	Segnalazione elettronica e accurata dei dati per supportare il monitoraggio e la valutazione delle politiche.
Art. 9a	Esercizio della delega	Il potere di delegare l'atto spetta alla Commissione.
Art.10	Attuazione	Gli Stati membri devono adottare la Direttiva nel loro diritto interno.
Art.10a	Riesame	Commissione per valutare e riferire al parlamento UE in una proposta legislativa.
Art.11	Procedura di comitato	La Commissione è assistita dal Comitato
Art.12	Entrata in vigore	Data di pubblicazione nel Journal Ufficiale delle Comunità
Art.13	Destinatari	Agli Stati membri a Bruxelles, 18 settembre 2000.
Allegato I	Requisiti tecnici minimi per il trattamento	Siti per lo stoccaggio e il trattamento, trattamento e operazioni di stoccaggio.
Allegato II	Materiali e componenti essenziali	Elenco di materiali e componenti

La Direttiva stabilisce obblighi per gli Stati membri di garantire la disponibilità di sistemi di raccolta, la bonifica degli ELV e il raggiungimento di obiettivi minimi di riutilizzo e recupero. Questa Direttiva richiede che ogni Stato membro integri le proprie disposizioni nella propria legislazione nazionale. Sebbene sia essenziale che i principi fondamentali rimangano uniformi in tutti gli stati, c'è spazio per ogni membro per adottare metodologie allineate ai propri sistemi giuridici e pratiche specifiche. La flessibilità consente un'implementazione su misura

garantendo al contempo il rispetto degli obiettivi principali della Direttiva. Tuttavia, ciò comporta incongruenze nella rendicontazione dei dati e nell'interoperabilità.

Tuttavia, osservazione da questa ricerca è che la **direttiva non affronta esplicitamente la rimanifattura**, anche se la rimanifattura è un processo essenziale per sostenere le risorse primarie e migliorare la circolarità dei materiali. L'assenza di rimanifattura all'interno del linguaggio della direttiva rappresenta una lacuna nella promozione di strategie complete di sostenibilità delle risorse durante tutto il ciclo di vita del veicolo. Suggerisce in questa tesi che **la rimanifattura possa essere standardizzata sulla base dei materiali di partenza determinati dai codici dei rifiuti**.

2.4.1 Quadro Standardizzato per gli Smantellatori (ATF) dalla Direttiva

Sebbene la Direttiva ELV non utilizzi esplicitamente il termine "standardizzazione", essa si basa implicitamente su processi e procedure standardizzati. La Direttiva 2000/53/CE stabilisce le principali disposizioni giuridiche che definiscono il quadro di gestione dei veicoli fuori uso nell'Unione Europea. Per garantire chiarezza concettuale e coerenza analitica, questa sezione effettua un'estrazione strutturata delle disposizioni giuridiche. Gli elementi normativi fondamentali, delineati negli Articoli 4-9, stabiliscono il quadro terminologico e operativo essenziale per sviluppare il caso di studio in questa tesi. Questo sforzo mira a migliorare la precisione e a creare un quadro completo specificamente progettato per gli Impianti di Trattamento Autorizzati (ATF), comunemente noti come smantellatori. Dato che l'**operatore economico selezionato** per questo lavoro, l'obiettivo principale è identificare e colmare le lacune esistenti nel quadro normativo attuale. Le disposizioni legali delineate in **Tabella 2** fornire una panoramica delle possibili fasi nelle operazioni di smantellamento, inclusi prevenzione, raccolta, trattamento, riutilizzo, recupero e conformità agli standard di codifica e ai requisiti di rendicontazione.

Tabella 2. Quadro di Gestione ELV dalla Direttiva

Art. 4 Prevenzione: La commissione chiede ai produttori di adottare misure per facilitare lo smantellamento, il riutilizzo e il recupero, ma soprattutto il riciclo degli ELV. Per farlo, è necessario riconsiderare i materiali per i componenti dei veicoli e ridurre le sostanze pericolose. Estremamente necessario evitare piombo, mercurio, cadmio o cromo esavalente. Il ruolo dello smantellatore è essere consapevole degli aggiornamenti dei materiali e dei componenti nell'Allegato II.
--

Art.5 Raccolta: Deve essere stabilito un approccio sistematico per la raccolta degli ELV. **I certificati di distruzione** possono essere rilasciati da produttori autorizzati, rivenditori, collezionisti o impianti di trattamento, a condizione **che non** venga richiesto alcun rimborso all'utente finale. Tuttavia, è **consentito applicare una tariffa per la consegna di un ELV che manca di componenti essenziali, come il motore o la carrozzeria, o che contiene rifiuti aggiuntivi (ad esempio, rifiuti domestici)**. Inoltre, è necessario un sistema di cancellazione.

Art. 6 Trattamento: Gli impianti devono essere trattati in conformità con la gerarchia dei rifiuti e con qualsiasi **richiesta di autorizzazione** per svolgere attività di trattamento². Per le operazioni di recupero, le autorità devono effettuare ispezioni annuali delle procedure di bonifica e **referire i risultati alla Commissione**. Inoltre, **le operazioni di decontaminazione devono essere eseguite** il prima possibile. Ciò significa che qualsiasi **materiale o componente pericoloso** deve essere affrontato immediatamente all'inizio del processo di smantellamento. Inoltre, i **componenti devono essere segregati** selettivamente per garantire il riutilizzo, il recupero o il riciclo. **Prima che l'autorità nazionale conceda il permesso, le strutture devono rispettare** i seguenti requisiti: (a) tipo e quantità di rifiuti da trattare; (b) requisiti tecnici generali da rispettare; (c) precauzioni di sicurezza da adottare. Inoltre, i **governi nazionali dovrebbero incoraggiare le strutture ad adottare sistemi di gestione ambientale certificati**.

Art. 7 Reimpiego e recupero: Le strutture dovrebbero essere incoraggiate a riutilizzare i componenti ogni volta che è possibile; se i componenti non adatti al riutilizzo, dovrebbero essere recuperati per il riciclo. Gli obiettivi reali sono **che, in base al peso del veicolo, il materiale sia reimpiegabile e riciclabile almeno all'85%, e reimpiegabile e/o recuperabile almeno al 95%**. I componenti riutilizzabili non devono rappresentare alcun pericolo per la sicurezza o per l'ambiente.

Art. 8 Standard di codifica e informazioni sullo smontaggio: I materiali e i componenti idonei al riutilizzo o al recupero devono essere assegnati a **una codifica standardizzata**.

¹ Articolo 4 della Direttiva 2008/98/CE <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng>

² Articoli 9, 10 e 11 della Direttiva 75/442/CEE; obblighi per l'istituzione di una rete di impianti di smaltimento dei rifiuti, l'istituzione di un'autorità competente e il principio del "pollutatore paga" per i costi di smaltimento dei rifiuti

Questa codifica consente ai produttori di dare priorità alle informazioni sullo smantellamento e di identificare sostanze pericolose per gli impianti di trattamento, e devono essere comunicate per ogni veicolo introdotto sul mercato entro sei mesi. Lo stato deve fornire informazioni agli ATF per lo smontaggio, lo stoccaggio e il test dei componenti senza compromettere la riservatezza industriale.

Art. 9: Relazione e informazioni: La relazione annuale sugli obiettivi di smantellamento è obbligatoria; la Commissione raccoglierà tutti i dati dagli Stati Membri e li renderà disponibili entro 18 mesi dalla fine dell'anno di riferimento (circa 1,5 anni). I dati sono valutati in **base alla completezza, affidabilità, tempestività e coerenza**.

La commissione può fornire una **valutazione ogni 4 anni** all'organizzazione nazionale dello stato membro responsabile della raccolta dei dati.

I governi nazionali chiedono agli smantellatori di pubblicare informazioni riguardanti il trattamento ambientalmente sostenibile degli ELV, in particolare la rimozione dei fluidi e lo smantellamento, nonché i progressi raggiunti per lo smaltimento dei rifiuti, il recupero e i tassi di riciclo.

2.4.2 Pilastri Fondamentali della Gestione ELV

Dopo aver esaminato la struttura della direttiva, lo studio ha identificato quattro pilastri fondamentali della gestione dell'ELV (Vedi **Figura 1**). I pilastri identificati rappresentano le fasi più rilevanti per stabilire un quadro standardizzato per gli ATF, l'operatore economico selezionato per questa tesi.

Questo crea un vocabolario comune senza eccessiva complessità. I pilastri fondamentali sono l'analisi di definizione dei confini del nuovo regolamento di proposta nel prossimo sottocapitolo e l'identificazione del divario di ricerca (standardizzazione) in Europa, utilizzando Italia, Belgio e Spagna come campioni. Inoltre, nel Capitolo 5 di questa tesi, i quattro pilastri supportano lo sviluppo del modello Lampone. Il modello Lampone mira a supportare la standardizzazione a livello di trattamento operativo per lo smantellamento dei VV.

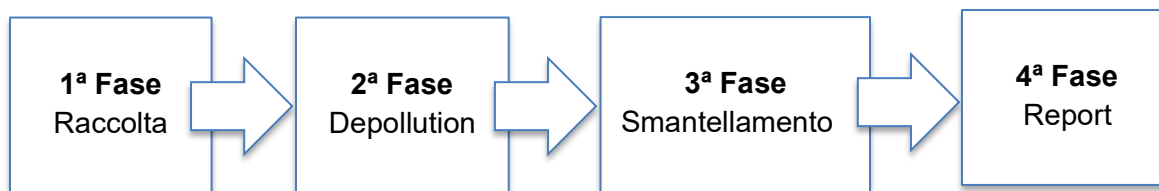


Figura 1. Pilastri operativi fondamentali della gestione ELV dal punto di vista degli ATF.

Non sorprende che la direttiva esistente rimanga incompleta riguardo alla catena del valore dell'ELV. Ci sono alcune lacune; ad esempio, **la tariffa richiesta dagli ATF agli utenti finali che consegnano un ELV con componenti essenziali mancanti. La necessità di una regolamentazione rigorosa è diventata più evidente** a causa della rapida transizione nell'ecosistema automobilistico. L'articolo 10 della Direttiva 2000/53/CE stabilisce che il quadro legislativo per i veicoli in fine vita deve essere revisionato periodicamente e, se necessario, rivisto **attraverso proposte legislative formali**. Pertanto, nel sottocapitolo successivo, lo studio valuta la nuova proposta regolatoria.

2.5 Regolamentazione ELV: PE-CONS 13/26

Il 29 giugno 2026, la proposta COM/2023/451 è stata ufficialmente adottata come nuova **Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio sui requisiti di circolarità per la progettazione dei veicoli e sulla gestione dei veicoli in fine vita utile**, che intende sostituire e modernizzare il precedente quadro legislativo. Il **Testo finale di compromesso** è pubblicato secondo il codice **PE-CONS 13/26**, ma non è stato pubblicato come EUR-Lex Regulation.(Consiglio dell'UE, 2026) Ciò significa che manca il numero regolamentare, la data, la citazione della rivista ufficiale, il numero CELEX e talvolta le correzioni molto minori tra avvocati e linguisti, che possono includere anche armonizzazioni tra 24 lingue.

Il nuovo regolamento abroga esplicitamente due direttive esistenti dell'Unione Europea: i) **Direttiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sui veicoli in fine vita** (la "Direttiva ELV") e ii) **Direttiva 2005/64/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla certificazione di tipizzazione dei veicoli a motore in relazione alla loro riutilizzabilità, riciclabilità e recuperabilità** (la "Direttiva di approvazione di tipo 3R").

Il nuovo regolamento entrerà in vigore due anni dopo la sua adozione ufficiale. Tuttavia, l'art. **59** determina quali disposizioni entreranno in vigore entro il primo mese dall'adozione e quali si applicano immediatamente.

Il Regolamento estende l'ambito normativo all'intero ciclo di vita del veicolo, rafforzando i requisiti di circolarità mantenendo al contempo la continuità con gli obiettivi del quadro ELV esistente.

Attenzione che **le batterie** sono specificamente regolamentate dal **Regolamento sulle Batterie (UE) 2023/1542**, che ne regola la rimozione sicura dai veicoli, la progettazione, la gestione del ciclo di vita e il riciclo.

Questa separazione normativa riflette l'approccio settoriale specifico dell'UE alla circolarità delle batterie all'interno del più ampio quadro normativo dei veicoli.

Il **Tabella 3** di seguito è presentata una panoramica dei principali documenti legislativi e politici che sostengono il Regolamento proposto e che sono stati presentati al Parlamento Europeo come parte del processo legislativo. **Tabella 3** è utile solo per comprendere l'evoluzione della nuova regolamentazione; tuttavia, si riferisca a **Tabella 4** per un'analisi degli impatti economici, sociali e ambientali.

Tabella 3. Documenti presentati al Parlamento Europeo riguardanti il Regolamento sui VFU.

N°	Documento	Codice legale
1	Proposta di regolamento	Finale COM/2023/451
2	Valutazione dell'impatto	SWD/Finale 2023/255
3	Sommario della valutazione dell'impatto	SWD/Finale 2023/257
4	Documento di lavoro dello staff	SWD/Finale 2023/255

2.5.1 Fattori di impatto economico, sociale e ambientale per una regolamentazione

Per chiarire la motivazione della revisione del quadro del veicolo di fine vita, i principali conducenti possono essere raggruppati in tre grandi categorie: **economico, sociale e ambientale**. Queste dimensioni riflettono sia le priorità strategiche dell'Unione Europea sia le realtà operative del settore automobilistico, inclusi il passaggio verso la circolarità, l'elettrificazione e l'efficienza dei materiali. **Tabella 4** sintetizza le motivazioni primarie identificate nel nuovo regolamento. Questa presentazione strutturata offre una comprensione più chiara del contesto multidimensionale in cui la proposta è stata sviluppata e supporta **Accettazione della nuova normativa** Intervento per tutto il ciclo di vita del veicolo.

Tabella 4. Dimensioni di impatto per una nuova regolamentazione.

Aspetto dimensionale	Motivazione
Economico	Consumo di risorse Il settore automobilistico è un importante consumatore di risorse primarie nell'UE , tra cui acciaio (19%), alluminio per il trasporto (42%), plastiche (10%), rame (6%), gomma (65%) e vetro piatto (1,5 milioni di tonnellate all'anno).
	Transizione ai veicoli elettrici Il passaggio ai veicoli elettrici aumenta la domanda di rame e di elementi delle terre rare, specialmente per magneti permanenti, creando nuove opportunità di mercato, come il primo impianto UE a Narva, in Estonia.
	Autonomia strategica Garantire l'approvvigionamento delle risorse è fondamentale per l'autonomia strategica dell'UE e per mitigare i rischi di approvvigionamento . Ci sono alcuni rischi da considerare riguardo all'elevata dipendenza dalle importazioni cinesi .
	Circolarità ed Ecodesign Promuovere la circolarità e l'eco-design dovrebbe ridurre i costi di produzione ed energia riducendo la dipendenza dall'estrazione di nuovo acciaio, alluminio e plastica.
	Stabilità dei costi Queste misure sostengono costi di produzione stabili in un'industria che produce circa 12 milioni di veicoli all'anno in Europa .
	Digitalizzazione Il Digital Vehicle Passport migliora la raccolta dati e traccia il problema dei veicoli mancanti. Supporta l'armonizzazione digitale in Europa.
Soci	Creazione di posti di lavoro Sono previsti oltre 22.000 nuovi posti di lavoro e lavori specializzati per la rimozione delle batterie o per aumentare l'accesso all'istruzione e alla formazione specializzata.

Ambiente	Empowerment delle PMI	Concentrarsi sulle piccole e medie imprese in settori in fase di smantellamento per aumentare la competitività e sviluppare modelli di business basati sul supporto.
	Tassi di Riciclo e Recupero	La nuova regolamentazione mantiene gli obiettivi del 95% di riutilizzo e recupero e dell'85% di riutilizzo e riciclo. Il 30% delle plastiche provenienti dagli ELV deve essere riciclato , il che promuove la conservazione delle risorse e sostiene i valori dell'economia circolare nella società
	Mercato dei componenti usati	L'espansione del mercato dei pezzi di ricambio usati rende accessibili opzioni sostenibili e supporta l'accessibilità economica e l'inclusione.
	Riduzione della CO ₂ -EQ	12,3 milioni di tonnellate nel 2035; 14 milioni nel 2040
	Valore monetizzato del CO ₂	Riduzione di 2,8 miliardi di euro entro il 2035, consentendo tassi più elevati di riutilizzo e riciclo, riducendo così la domanda di produzione di materie primarie nel Sistema di Scambio delle Emissioni (ETS) che copre settori come la produzione di acciaio e alluminio.
	Valorizzazione dei materiali	5,4 milioni di tonnellate di materiali recuperati (plastiche, acciaio, alluminio, rame, CRM)
	Ulteriori ELV trattati	Fino a 3,8 milioni di unità (2035)
	Recupero dei magneti delle terre rare	350 tonnellate nel 2035; 1.500 tonnellate nel 2040 sarebbero recuperate, supportando l'autonomia strategica dell'UE per le materie prime critiche.
	Ricavi annuali (2035)	5,2 miliardi di euro
	Costi annuali (2035)	3,3 miliardi di euro
	Beneficio netto (2035)	1,8 miliardi di euro
	Obiettivo di Neutralità Climatica	La riduzione delle emissioni di gas serra sostiene l'obiettivo UE di neutralità climatica entro il 2050
	Mitigazione dell'inquinamento	Riduzione dei componenti pericolosi e dei fluidi nei veicoli in fine vita (ELV)
	Circularità del ciclo vitale	Approccio completo dalla progettazione al trattamento finale, affrontando la complessità nel riciclo di materiali di alta qualità
	Allineamento degli SDG	Supporta SDG9 (Innovazione), SDG12 (Produzione Responsabile), SDG13 (Azione Climatica)

I fattori economici, sociali e ambientali sopra discussi non solo giustificano un intervento regolatorio, ma spiegano anche la necessità di uno strumento giuridico rapido, uniforme e direttamente applicabile.

2.5.2 Struttura generale del nuovo regolamento

Il Regolamento ELV è strutturato in 10 capitoli, comprendenti 59 articoli e 15 annessi, riflettendo un approccio completo al ciclo di vita della circolarità, del trattamento e della gestione delle informazioni dei veicoli. Il **Tabella 5** funziona come indice, fornendo una panoramica semplice della terminologia chiave rilevante nelle dimensioni politica, industriale e accademica. La struttura è meticolosamente organizzata per capitoli, con ogni capitolo titolato in modo prominente e accompagnato da un gruppo di articoli correlati. Questo approccio strutturato non solo migliora la comprensione, ma fornisce anche un quadro coeso per comprendere la narrazione più ampia intrecciata nel testo.

Tabella 5. Panoramica della struttura del nuovo regolamento ELV (PE-CONS 13/26)

Capitolo	Titolo	Gruppo di articoli	Articolo	Descrizione	
I	Disposizioni generali	Art.1-3	Art.1	Oggetto	95
			Art.2	Ambito d'applicazione	95
			Art.3	Definizioni	104
II	Requisiti di circolarità	Art.4-7	Art.4	Riutilizzabilità, riciclabilità e recuperabilità	114
			Art.5	Prescrizioni per le sostanze nei veicoli	116
			Art.6	Contenuto riciclato minimo nei veicoli	120
			Art.7	Progettazione per consentire la rimozione e la sostituzione di determinate parti e componenti nei veicoli	129
			Art.8	Obblighi generali	131
			Art.9	Strategia di circolarità	132
III	Obblighi dei Costruttori	Art.8-13	Art.10	Dichiarazione sul contenuto riciclato presente nei veicoli	134
			Art.11	Informazioni sulla rimozione e sostituzione di parti, componenti e materiali presenti nei veicoli	135
			Art.12	Etichettatura di parti, componenti e materiali presenti nei veicoli	137
			Art.13	Passaporto Digitale di Circolarità del veicolo	138
			Art. 14	Autorità competente	141
			Art.15	Impianti di trattamento autorizzati	143
IV	Gestione dei veicoli fuori uso	Sezione I Art.14-15	Art.16	Responsabilità estesa del produttore (EPR)	145
			Art.17	Organizzazioni per l'adempimento della Responsabilità del Produttore	147
			Art. 18	Autorizzazione per l'adempimento della responsabilità estesa del produttore	148
	Responsabilità estesa del produttore	Sezione II Art.16-22	Art.19	Registrazione	151
			Art.20	Responsabilità finanziaria dei produttori	155
			Art.21	Modulazione delle tariffe	158
			Art.22	Meccanismo di ripartizione dei costi per i veicoli divenuti veicoli fuori uso in un altro Stato membro	160
			Art.23	Raccolta dei veicoli fuori uso	162
			Art.24	Conferimento di veicoli fuori uso	165
	Raccolta dei veicoli in fine vita	Sezione III Art.23-26	Art.25	Certificato di rottamazione	166
			Art.26	Obblighi degli impianti di trattamento autorizzati	168
			Art.27	Prescrizioni generali per la frantumazione	170
			Art.28	Depurazione dei VFU	172
			Art.29	Rimozione obbligatoria di parti e componenti per il riutilizzo, la rifabbricazione, il ricondizionamento e il riciclaggio prima della frantumazione	173
			Art.30	Requisiti relative alle parti e ai componenti rimossi	175

			Art.31	Commercio di parti e componenti usati, rifabbricati e ricondizionati	177
			Art. 32	Riutilizzo, rifabbricazione e ricondizionamento di parti e componenti	177
			Art.33	Obiettivi di riutilizzo, riciclaggio e recupero	179
			Art.34	Divieto di collocamento in discarica di rifiuti non inerti	180
			Art.35	Spedizioni di veicoli fuori uso	180
V	Trasferimento di proprietà e distinzione tra veicoli usati e veicoli fuori uso	Arte. 36-37	Art.36	Trasferimento di proprietà dei veicoli usati all'interno dell'Unione	181
			Art.37	Condizione del veicolo	182
VI	Esportazione di veicoli usati verso paesi terzi	Art.38-46	Art.38	Autorità competente per l'esportazione di veicoli usati verso paesi terzi	183
			Art.39	Controlli e prescrizioni relativi all'esportazione di veicoli usati	184
			Art.40	Verifica automatizzata delle informazioni sulla condizione del veicolo	186
			Art.41	Gestione del rischio e controlli doganali	186
			Art.42	Sospensione	188
			Art.43	Svincolo per l'esportazione	189
			Art. 44	Rifiuto di svincolo per l'esportazione	190
			Art.45	Cooperazione tra autorità e scambio di informazioni	190
			Art. 46	Sistemi elettronici	192
VII	Applicazione	Art.47-50	Art.47	Ispezioni	194
			Art. 48	Cooperazione nelle attività e garanzia dell'applicazione delle norme a livello nazionale e tra Stati membri	196
			Art. 49	Sanzioni	197
			Art.50	Comunicazione alla Commissione	198
VIII	Delega di potere e procedura di comitato	Art.51-52	Art.51	Esercizio della delega	204
			Art.52	Procedura del comitato	205
IX	Emendamenti	Art.53-55	Art. 53	Modifiche del Regolamento(UE) 2023/1542	206
			Art.54	Modifiche del Regolamento(UE) 2019/1020	206
			Art.55	Modifiche dei Regolamenti (UE) 2018/858 e (UE) n. 168/2013	206
X	Disposizioni finali	Art.56-59	Art.56	Riesame	207
			Art. 57	Abrogazione e disposizioni transitorie	213
			Art. 58	Applicabilità al Regno Unito e nel Regno Unito per l'Irlanda del Nord	215
			Art.59	Entrata in vigore e applicazione	216

Questo studio identifica un articolo specifico rilevante per il Regno Unito e l'Irlanda del Nord. Gli articoli della Direttiva 2000/53/CE sono stati incorporati nel nuovo sistema di liquidazione dei veicoli, anche se i quattro pilastri del modello dei Veicoli di fine vita (ELV) sono identificabili nel nuovo regolamento.

Il regolamento introduce diversi nuovi temi, **tra cui obiettivi obbligatori per i contenuti riciclati, responsabilità estesa del produttore (EPR) e adeguato trattamento ed esportazione dei veicoli di fine vita (ELV).** Stabilisce inoltre un **Passaporto Digitale per i**

Veicoli a Circolarità e applica regole rigorose per la rimozione obbligatoria dei componenti per il riutilizzo e il riciclo prima che i veicoli vengano sminuiti. **Gli articoli 29, 31 e 32** evidenziano l'integrazione di concetti come **riutilizzo, rifabbricazione e ricondizionamento**. Inoltre, la legislazione affronta il problema dei **"veicoli scomparsi"**. Inoltre, amplia il proprio ambito includendo più categorie di veicoli, come M1 e N1. Per più precisione consulta l'Art 2.

2.5.3 Standardizzare gli elementi basati sui pilastri fondamentali della gestione ELV

Per chiarire gli elementi di standardizzazione delineati nel nuovo regolamento, questo studio ha stabilito un quadro iniziale per gli ATF, utilizzando i quattro pilastri fondamentali (Vedi **Figura 1**). Questo approccio mira a facilitare la comprensione dei nuovi requisiti nelle diverse fasi della catena del valore. Ecco un riassunto dei punti più importanti del nuovo regolamento.

1ª Fase: Raccolta

Questa fase iniziale garantisce che l'ATF accetti legalmente il veicolo e prepari il sito secondo rigorosi standard ambientali, prevenendo così danni ambientali a livello di struttura.

Tabella 6. Elementi di standardizzazione per la Fase di Collezione.

Elemento di standardizzazione	Requisiti chiave	Fonte
Idoneità all'ELV	Determinazione dello status basata su criteri vincolanti di irreparabilità (ad esempio, tagliato a pezzi, completamente bruciato, sommerso sopra il cruscotto) e criteri indicativi (ad esempio, NIV mancante, abbandonato, non registrato >2 anni).	Art.37 Allegato I
Sistema di raccolta	I produttori o i PRO devono istituire sistemi che coprono l' intero territorio , garantendo una disponibilità adeguata di ATF e punti di raccolta, indipendentemente dal marchio del veicolo.	Art.23(1-3)
Ritorno Libero	La consegna dell'ELV deve generalmente essere gratuita all'ultimo proprietario, a meno che il veicolo non abbia parti o componenti essenziali (esclusa la batteria del veicolo elettrico) o contenga rifiuti aggiuntivi.	Art. 24(2-5)
Certificato di Distruzione (CoD)	Emettere un CoD elettronico per ogni ELV trattato; la cancellazione della registrazione è consentita solo dopo che il CoD è stato consegnato all'ultimo proprietario.	Art.25, Allegato X
Accesso digitale alle informazioni	I produttori devono fornire accesso digitale illimitato alle informazioni di rimozione e sostituzione. Questo è facilitato tramite il Passaporto Digitale del Veicolo di Circolarità, che deve essere interoperabile con il Passaporto Digitale per Batterie.	Art. 11, Art. 13
Requisiti del sito	Esistono obblighi specifici per gli ATF di rispettare la conservazione, la decontaminazione e la rimozione dei pezzi di ricambio. I siti di stoccaggio devono rispettare i requisiti minimi, inclusi superfici impermeabili con impianti di raccolta fuoriuscite, decanter e attrezzature per il trattamento di acqua e piovane.	Art. 15, Allegato VIII Parte A

Preparazione per il sito batterie EV	Le strutture devono rispettare i requisiti specifici stabiliti dal Regolamento sulle Batterie (UE) 2023/1542 Allegato XII. Gli smantellatori devono adottare precauzioni specifiche e misure di sicurezza per la manipolazione, la selezione e lo stoccaggio delle batterie al litio di scarto. Gli impianti di trattamento autorizzati che accettano veicoli elettrici con sospetti danni alla batteria devono valutare queste batterie il prima possibile, ma non oltre 24 ore dopo la consegna.	Art.26 Allegato VIII Parte A (4)
--------------------------------------	---	--

2ª Fase: Depurazione (Sicurezza Prima di Tutto)

La bonifica o messa in sicurezza adesso viene adottata come **depurazione** mentre inglese questo processo si chiama depollution è un'attività preventiva centrale che si concentra sull'isolamento di sostanze e fluidi pericolosi per proteggere la salute umana e l'ambiente, aumentando così il potenziale di valore dei flussi di materiali successivi.

Tabella 7. Elementi di standardizzazione per la fase di depollution.

Elemento di standardizzazione	Requisiti chiave	Fonte
Tempistica operativa	Le operazioni di depollution devono essere completate entro 30 giorni dalla consegna dell'ELV all'ATF.	Art. 28 (1)
Obbligatorio Rimozione dei fluidi	L'ATF deve rimuovere l'elenco completo di fluidi e liquidi (ad esempio, carburante, tutti i tipi di oli, liquidi di raffreddamento, liquidi freni, liquido del sistema di condizionamento). L'olio di scarto deve essere trattato separatamente in conformità con la Direttiva 2008/98/CE.	Art. 28 (2), Allegato VIII Parte B
Rimozione di componenti pericolosi	I componenti contenenti mercurio devono essere rimossi e separati per immobilizzarli e smaltirli in sicurezza. I materiali contenenti piombo, cadmio o cromo esavalente (Articolo 5(2)) devono essere inoltre rimossi e maneggiati secondo la Direttiva 2008/98/CE. Airbag, serbatoi di GPL, GNC e idrogeno, e qualsiasi altro componente potenzialmente esplosivo, devono essere neutralizzati.	Art. 28 (3), Allegato VIII Parte B
Neutralizzazione pirotecnica	Neutralizzazione degli airbag e di altre parti potenzialmente esplosive (serbatoi LPG/CNG) salvo necessità per il riutilizzo dei pezzi	Allegato VIII-Parte B
Rimozione della batteria	Le batterie per veicoli elettrici e quelle SLI (come definite nel Regolamento sulle Batterie) devono essere rimosse separatamente e conservate in un'area designata per ulteriori trattamenti in conformità con il Regolamento sulle Batterie. Per garantire sicurezza e protezione ambientale durante lo stoccaggio di batterie al litio di scarto, le strutture devono seguire linee guida specifiche. Le batterie devono essere mantenute nella loro orientazione normale e in aree ben ventilate, protette da temperature estreme, umidità e danni fisici. Un isolamento in gomma ad alta tensione deve essere utilizzato per coprire le batterie conservate per la sicurezza elettrica. Devono essere segnalati segnaletti chiari i punti di stoccaggio e	Art.28(4), Allegato VIII Parte C/F Articolo 70 (Regolamento sulle batterie)

	contenitori appropriati per la gestione degli elettroliti devono essere disponibili per la neutralizzazione in loco o in altri luoghi.	
--	--	--

3ª Fase: Smantellamento (Operazioni di Trattamento e Obiettivi)

Questa fase descrive il processo di recupero ad alto valore, che include la rimozione di parti specifiche per il riutilizzo e il riciclo di alta qualità prima che avvenga la triturazione meccanica. È importante capire che non tutti gli Impianti di Trattamento Autorizzati (ATF) operano allo stesso modo. A seconda delle loro dimensioni e esigenze, alcuni impianti possono implementare solo le prime due fasi: Raccolta e Depollution. Al contrario, quelli che operano a un livello di prestazioni superiore agiscono come operatori di gestione dei rifiuti e svolgono la triturazione in loco. È fondamentale che tutti gli operatori di Veicoli di Fine Vita (ELV) riconoscano queste attività per garantire che le aziende di triturazione ricevano materie prime smontate di alta qualità.

Tabella 8. Elementi di standardizzazione per la fase di smantellamento.

Elemento di standardizzazione	Requisiti chiave	Fonte
Divieto di miscelare	I veicoli a fine vita (ELV) possono essere processati in un tritratore in combinazione con altri rifiuti (ad esempio, imballaggi, WEEE) solo se criteri di qualità specifici e valori limiti di output sono rigorosamente rispettati.	Art. 27 (3) Allegato VIII Parte G (1)
Rimozione obbligatoria pre-frantumazione	L'ATF deve rimuovere tutte le parti e componenti elencati nell'Allegato VIII Parte C (19 voci in totale), prima della demolizione. Questa lista include motori a trasmissione elettrica, catalizzatori, motori, ruote, cruscotti, cablaggi di fili, paraurti e qualsiasi componente metallico o plastico monomateriale superiore a 10 kg.	Art. 29 (1), Allegato VIII Parte C
Esenzione post-frantumazione	L'esenzione dalla rimozione manuale per materiali specifici (Allegato VII Parte G, voci 13-19) è concessa solo se l'ATF dimostra che le tecnologie post-tritratore (PST) raggiungono una separazione dei materiali altrettanto efficiente senza abbassare la qualità delle frazioni. Ciò richiede documentazione dettagliata sull'analisi dei campioni e contratti con impianti di triturazione.	Art. 29 (2), Allegato VIII Parte G (3)
Valutazione circolare	Ogni componente rimosso deve essere valutato tecnicamente per determinare se è idoneo al riutilizzo, rifabbricazione, ricondizionamento , riciclo o smaltimento. Questa valutazione determina se il pezzo è ancora considerato un rifiuto .	Art. 30(1)
Criteri di riutilizzo/riproduzione	I pezzi valutati per il riutilizzo devono essere funzionanti. I componenti per la rifabbricazione/ricondizionamento devono essere completi, valutati per danni/riparazioni e non presentare una forte corrosione.	Allegato VIII Parte D (1)

Etichettatura obbligatoria (Pezzi di ricambio)	I pezzi idonei al riutilizzo o alla riproduzione devono essere etichettati con il nome del componente e le informazioni di contatto ATF che hanno effettuato la rimozione.	Art.12. Allegato VII Art.30 (2), Allegato VIII Parte D
Elenco dei Riutilizzi Proibiti	Gli ATF non devono riutilizzare, riprodurre o ricondizionare componenti elencati nell ' Allegato VIII Parte E , inclusi tutti gli airbag, le cinture di sicurezza, i silenziatori di scarico, i sistemi di post-trattamento delle emissioni (ad esempio, catalizzatori) e gli assemblaggi di blocco dello sterzo.	Allegato VIII Parte E
Obbligo Funzionale	Per le vendite B2C, gli operatori economici devono garantire che i pezzi di ricambio mantengano funzioni e prestazioni durante un uso normale. I pezzi di ricambio che svolgono le loro funzioni sono incoraggiati per ogni tipo di transazione, comprese le vendite online.	Art. 31(2)
Obiettivo	Gli ATF devono raggiungere obiettivi annuali obbligatori dell' 85% per il riutilizzo/riciclo e del 95% per il riutilizzo/recupero in base al peso medio per veicolo. (escluse batterie).	Art. 33 (1)
Obiettivo per il riciclo delle plastiche	Gli ATF devono rispettare un obiettivo specifico di riciclaggio del 30% delle materie plastiche provenienti da veicoli in fine vita. (Art.33; 2) I produttori di veicoli devono integrare il 25% di plastica riciclata nei nuovi veicoli. (Art.6)	Art.33 (2)
Divieto di discarica	Le frazioni di trituratore contenenti rifiuti non inerti sono vietate nelle discariche se superano i valori limiti stabiliti per il contenuto di metalli e il carbonio organico totale.	Art. 34, Allegato VIII Parte G (2)
Qualità del riciclo del vetro	Il vetro rimosso deve essere riciclato specificamente in vetro contenitore, fibra di vetro o prodotti di qualità equivalente per prevenire il downcycling.	Allegato VIII Parte F

4ª Fase: Relazione

La rendicontazione è un passaggio essenziale che garantisce il processo di smontaggio. I dati raccolti durante il processo sono importanti per tracciare la storia dei pezzi di ricambio e per la gestione dell'ELV. L'ultima fase prevede la formalizzazione della fine vita di un veicolo e il rispetto di rigorosi obblighi di dati e rendicontazione per la verifica e il monitoraggio statale. Questa accountability è preziosa per accademici e operatori economici, permettendo loro di prendere decisioni informate nel settore. Aiuta inoltre a garantire la coerenza nel numero di veicoli decontaminati, negli obiettivi di tracciamento e nello sviluppo di indicatori chiave di performance (KPI). Per aumentare il valore dei veicoli, l'UE ha introdotto 3 tipi di passaporti digitali per veicoli: **i) Circolarità, ii) Batteria, e iii) Ambientale.** Vedi maggiori dettagli in **Tabella 9**. In particolare, il Passaporto Veicolo di Circolarità obbligatorio proposto per facilitare la rimozione dei componenti, il Passaporto Digitale per la Batteria per tracciare

l'impronta di carbonio e i contenuti riciclati, e il Passaporto Ambientale Veicolo (Euro 7) proposto per monitorare le prestazioni alla registrazione.

Tabella 9. Elementi di standardizzazione per la Fase di Segnalazione.

Elemento di standardizzazione	Requisiti chiave	Fonte
Passaporto Digitale per Veicoli a Circolarità (CVP)	Utilizzare il CVP per accedere alle istruzioni di smontaggio specifiche per modello e aggiornare il record elettronico del veicolo con lo stato dei componenti (ad esempio, "riutilizzato", "rifiuto" o "rifabbricato").	Art. 13, Art.30
Passaporto Digitale per Batterie (DBP)	Introdotta dal Regolamento UE sulle Batterie del 2023, è obbligatorio per le batterie di veicoli elettrici (EV) e le batterie dei mezzi leggeri (LMT) recuperare i protocolli di sicurezza e i dati sullo Stato di Salute (SoH) , consentendo un triaggio informato tra il riutilizzo della seconda vita e il recupero dei materiali	Regolamento sulle batterie Art.77
Passaporto Veicolo Ambientale	Proposta nella revisione del regolamento Euro 7 per raccogliere dati sulle prestazioni ambientali al momento della registrazione di un veicolo, come la durata della batteria e le prestazioni delle emissioni.	Art.13
Certificato di Distruzione (CoD)	Emettere il CoD in formato elettronico standardizzato e trasmetterlo tramite notifica elettronica alle autorità nazionali per attivare la cancellazione della registrazione del veicolo.	Art. 25, Allegato X
Registrazione interna	Documentare e conservare elettronicamente i registri di tutte le operazioni di trattamento eseguite (stoccaggio, depollution e smantellamento) per un minimo di tre anni.	Art. 26 (2)
Obiettivi di riciclaggio	Contribuire al raggiungimento dell'obiettivo nazionale di riutilizzo/recupero del 95% e dell'obiettivo di riutilizzo/riciclo dell'85% in peso medio.	Art. 33(1)
Obiettivo per il riciclo della plastica	Raggiungere l'obiettivo annuale specifico di riciclare almeno il 30% del totale delle plastiche contenute nei veicoli in fine vita (applicabile 60 mesi dopo l'entrata in vigore)	Art. 33(2)
Dati di segnalazione obbligatoria	Gli ATF e altri operatori di gestione dei rifiuti devono fornire alle autorità competenti dati accurati e affidabili necessari agli Stati Membri per la segnalazione (ad esempio, volume/peso delle parti rimosse per il riutilizzo/riciclo, uso di esenzioni post-trituratori).	Art. 50 (1), Art.50 (6)
Documentazione sulla triturazione	Gli ATF che agiscono come operatori di gestione dei rifiuti devono mantenere i registri degli ELV processati senza rimozione preventiva (se si utilizza l'esenzione PST), inclusi il VIN e il nome/indirizzo degli impianti di lavorazione.	Art.29 (3)

Dopo aver esaminato il Regolamento dal punto di vista degli ATF interessati, la necessità di formazione e guida standardizzate è essenziale per garantire che venga adattata a tutte le aziende degli Stati membri.

2.6 Regolamento sulle batterie 2023/1542

L'approccio integrato dell'Unione Europea alle normative riguardanti batterie e veicoli di fine vita (ELV) affonda le sue radici nel Green Deal europeo. Questa iniziativa mira alla neutralità climatica entro il 2050, promuove l'autonomia strategica nelle materie prime critiche e prevede un'economia circolare priva di tossici attraverso regole armonizzate sul mercato unico. Un aspetto chiave di questo approccio è la preparazione degli **ATF a gestire i veicoli con batterie e a valorizzare la digitalizzazione in questo processo**. Secondo il Regolamento ELV, l'impiego di strumenti digitali lungo tutto il ciclo di vita del prodotto trasforma **la gestione della fine vita in un processo basato sui dati**. La rimozione obbligatoria delle batterie sarà un prerequisito per la depollution, e ciò sarà supportato dalla Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), che richiede ai produttori di finanziare i costi di raccolta e trattamento.

Gli ATF hanno accesso **in sola lettura** al Sistema di Gestione delle Batterie (BMS) e istruzioni dettagliate per lo smontaggio per valutare lo stato di salute (SoH) dei componenti, dando priorità al riutilizzo in seconda vita e al riciclo di alta qualità per garantire che materiali come litio e cobalto vengano recuperati per la produzione futura.

2.6.1 Modello standardizzato di gestione delle batterie per ATF di ELV

Tabella 10. Elementi di standardizzazione tratti dalla regolamentazione delle batterie

Passo	Fase	Requisiti e azioni normative	Articolo/Allegato
1	Conformità alle infrastrutture e alla sicurezza	I cantieri devono avere superfici impermeabili e coperture impermeabili. Le batterie al litio di scarto devono essere conservate in un orientamento normalmente installato (mai invertite), in aree ventilate, protette da calore o danni e coperte con isolamento in gomma ad alta tensione.	Allegato XII
2	Accesso Digitale e Stato della Salute (SoH)	Scansiona il codice QR per accedere al Digital Battery Passport. Recupera i dati di sola lettura dal Battery Management System (BMS) per parametri come capacità residua, capacità di alimentazione e cicli completi di carica-scarica.	Art. 14, 77; Allegato VII
3	Rimozione sicura e protocollo tecnico	Le batterie devono essere rimosse dai veicoli in fine vita secondo le istruzioni del produttore. Utilizzare le specifiche sequenze di smantellamento e le misure di sicurezza/protezione (ad esempio, protezione antincendio e scarico sicuro) fornite dai produttori.	Art. 11, 70, 74
4	Triage circolare riutilizzo vs. riciclo	Effettuare una valutazione per determinare se la batteria è adatta al riutilizzo, alla rimanifattura o al riutilizzo. Le batterie non adatte a una seconda vita devono essere	Art. 71, 73 ; Allegato XII

		convogliate verso strutture autorizzate che soddisfino gli obiettivi di recupero dei materiali per cobalto, litio e nichel.	
5	Finanziamento EPR e Ripresa	Coordinarsi con i produttori nell'ambito della Responsabilità Estesa del Produttore (EPR). I produttori devono finanziare i costi di raccolta, trasporto e trattamento di tutte le batterie raccolte dagli ELV.	Art. 56, 57
6	Documentazione e Reportistica	Segnalare annualmente i dati alle autorità competenti riguardanti le quantità e le chimiche delle batterie raccolte, consegnate per il trattamento o esportate per il riutilizzo.	Art. 75

Dopo aver identificato gli elementi chiave della standardizzazione nella regolamentazione delle batterie, i risultati mettono in evidenza **il ruolo del diritto nel contesto industriale**. **Tabella 10** mostra un approccio standardizzato a livello operativo.

2.7 Decisione Europea 2000/532/CE Catalogo Europeo dei Rifiuti

Come già discusso, un Veicolo di fine vita (ELV) è classificato come rifiuto e non è più considerato un veicolo. Il marchio e il modello diventano irrilevanti in questo contesto. Pertanto, questa tesi mira a sottolineare l'importanza dei Codici dei Rifiuti in questo settore e la necessità del loro utilizzo. Il Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC) è stato istituito dalla Decisione Europea 2000/532/CE. (2000/532/EC, 2000)

Questo catalogo è composto da **venti capitoli principali**, principalmente categorizzati per settori industriali, materiali o processi, e ciascun capitolo è suddiviso in tipi specifici di rifiuti. I codici dei rifiuti contengono **numeri di sei cifre**; ad esempio, "16 01 04*" indica i veicoli in fine vita (ELV). Le prime due cifre rappresentano il capitolo (01-20), le due successive indicano il sottocapitolo e le ultime due specificano un particolare tipo di rifiuto. I rifiuti pericolosi sono segnati con un asterisco (*), come nel caso di "16 01 04*", che identifica gli ELV come rifiuti pericolosi. **Un codice semplice rivela informazioni molto importanti.**

2.7.1 Perché è importante lo smantellamento standardizzato dei veicoli di fine vita (ELV)?

L'interoperabilità nella rendicontazione dei dati è essenziale per stabilire un vocabolario standardizzato. Questa importanza è illustrata come segue **Figura 2**, che illustra chiaramente la necessità di descrivere e riportare accuratamente i dati raccolti da accademici o dal settore. È fondamentale distinguere tra pezzi di ricambio e rifiuti, e identificare i rifiuti automobilistici rispetto ad altri tipi di rifiuti.



Che è questo?

- A) Veicolo
- B) 16 01 04*
- C) Veicolo fuori uso

Figura 2. Esempio dell'importanza di armonizzare e integrare i codici di gestione dei rifiuti in ambito accademico, politico e industriale.

Il **Figura 2** Illustra l'importanza di usare la formulazione giusta nella fase di smantellamento.

La risposta dipende dalla fase della catena del valore che stiamo descrivendo.

Se lo chiamiamo "**veicolo**", probabilmente significa che è in fase di riparazione.

Se lo chiamiamo "**16 01 04***", indichiamo che è stato accettato per lo smantellamento e ha già ricevuto un certificato di distruzione.

Quando lo chiamiamo "**veicolo fuori uso**", intendiamo che non è più operativo ma non ha ricevuto alcun certificato di distruzione.

Questa ricerca mira a implementare **codici standardizzati per il processo di smantellamento** dei Veicoli Fuori Uso (ELV). **Questa classificazione aiuta a distinguere i rifiuti automobilistici da altri flussi di rifiuti.** Ad esempio, il vetro può provenire da varie fonti, come finestre o oggetti decorativi, ma esistono codici specifici per il vetro derivato dai veicoli, poiché è classificato in modo diverso.

Gli scarti di alluminio possono provenire da varie fonti, ma il codice 16 01 19 indica chiaramente che questi rifiuti provengono da veicoli in fine vita. Questa classificazione ci permette di segnalare e riciclare accuratamente questo materiale per applicazioni specifiche, date le sue caratteristiche prestazionali. Non è intercambiabile con l'alluminio usato, che ha già subito un processo di trasformazione ed è pronto per la rivendita.

Considerando la riproduzione, i codici sui rifiuti possono supportare i rifiuti di miscela per produrre un nuovo prodotto.

Pertanto, è **essenziale categorizzare tutti i materiali utilizzando i codici appropriati dei rifiuti**. Questa ricerca mira a stabilire specifici codici di rifiuti allineati alle fasi di smantellamento descritte nel regolamento e nella direttiva sui Veicoli di Fine Vita (ELV).

2.7.2 Analisi del flusso del materiale

L'Analisi del Flusso dei Materiali (MFA) è uno strumento metodologico originato dall'ecologia industriale che consente la quantificazione sistematica degli input, degli output e dell'accumulo dei materiali all'interno di un confine di sistema definito. Basandosi sul principio della

conservazione della massa, l'MFA monitora i flussi fisici dei materiali nello spazio e nel tempo, permettendo ai ricercatori di identificare inefficienze, perdite e potenziali di recupero nei sistemi di produzione e gestione dei rifiuti (Baccini & Brunner, 2012). Nel contesto di questo studio, la gestione dei veicoli a fine vita (ELV), MFA fornisce un approccio strutturato per monitorare le emissioni di smantellamento, le frazioni pericolose e i materiali riciclabili, supportando così le politiche di economia circolare e la conformità normativa (Brunner & Rechberger, 2004).

2.8 Identificazione della lacuna nella ricerca

2.8.1 Un modello di smantellamento per veicoli di fine vita (ELV)

Vari articoli accademici hanno modellato in modo rigoroso il processo di smantellamento degli ELV. Uno dei contributi fondamentali al riciclo automobilistico è il Dynamic Model, sviluppato da Zambudio Ramirez nel 1996 e finanziato da General Motors (Zamudio-Ramírez, 1996). Questo lavoro sottolinea l'importanza critica dei processi di modellazione per migliorare l'efficienza operativa e la sostenibilità all'interno dell'industria automobilistica. L'obiettivo principale del modello di Zamudio era quello di servire come strumento per i produttori automobilistici, fornendo informazioni concrete e valutando le implicazioni delle decisioni in fase di progettazione. Questo modello coinvolge vari stakeholder, tra cui produttori, utenti finali, smantellatori, trituratori e riciclatori.

Tuttavia, i ricercatori hanno sviluppato vari modelli di smantellamento per i veicoli di smantellamento (Vedi **Figura 3**), Ogni modello è personalizzato per soddisfare i requisiti e le normative specifiche di studio di vari paesi o regioni. Una breve revisione della letteratura accademica attuale evidenzia i temi e i modelli comuni di questi modelli.

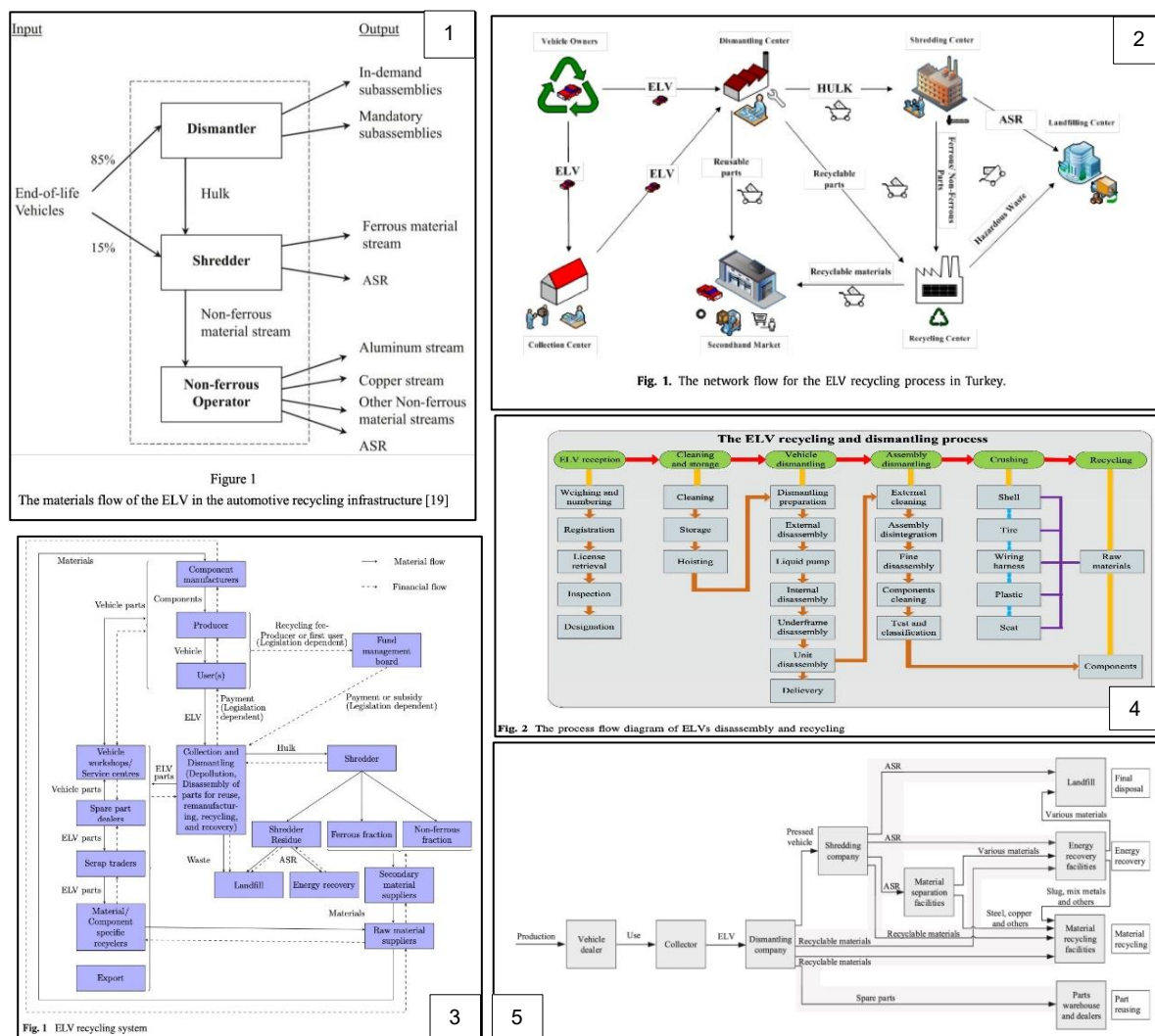


Figura 3. Smantellando modelli da casi accademici: 1) Sokić M.D.; 2) Karagöz S.I.; 3) Mohan T.V.K.; 4) Xia X.; e 5) Sato F.E.K.

Esempi notevoli sono: **i)** il flusso dei materiali dell'ELV nell'infrastruttura di riciclaggio automobilistico tramite (Sokić et al., 2016), **ii)** Il flusso della rete di riciclaggio ELV specifico per la Turchia è descritto da (Karagöz et al., 2021), **iii)** Il sistema di riciclaggio ELV presentato da (Mohan & Amit, 2020), **iv)** Il diagramma di flusso del processo di smontaggio e riciclo ELV fornito da (Xia et al., 2016), e **v)** Il ciclo di vita attuale del veicolo e il quadro di riciclaggio dettagliato da (Sato et al., 2019).

L'assenza di un modello standardizzato che guidi i ricercatori iniziali nella comprensione delle dinamiche dei **processi di smantellamento all'interno del settore automobilistico** è diventata sempre più evidente. Ogni paese e organizzazione presenta caratteristiche distinte; tuttavia, è plausibile che **esistano schemi comuni nelle procedure di smantellamento impiegate**. Questa riflessione porta a un'osservazione degna di nota: molti paradigmi di gestione di prestigio fanno risalire le loro origini all'industria automobilistica.

Quadri di rilievo come il Ford Model e il Lean Management hanno influenzato significativamente la gestione operativa in vari settori manifatturieri.

Nonostante ciò, **rimane un evidente vuoto** nella letteratura riguardo ai quadri consolidati specificamente progettati per lo smantellamento nell'industria automobilistica. Questa mancanza di linee guida strutturate rappresenta una sfida formidabile per i manager impegnati nella ricerca, poiché è imprudente imporre definizioni rigide che potrebbero non catturare adeguatamente le dinamiche uniche del flusso di smantellamento.

Considerando queste osservazioni, è imperativo, dal punto di vista accademico, **sostenere lo sviluppo di un modello standardizzato di smantellamento che mantenga l'adattabilità agli attributi distintivi delle singole organizzazioni.** Un tale modello considererebbe i modelli piuttosto che la localizzazione organizzativa, la distribuzione delle aree di smantellamento e la collocazione strategica dei processi operativi.

2.8.2 Osservazioni sul campo: Sistemi, retribuzione e differenze tra Belgio, Italia e Spagna.

Prima osservazione: sistemi esterni e interni

In un contesto industriale, gli ATF funzionano all'interno di un quadro stabilito dai governi locali. In Europa, questo quadro è principalmente regolato dalla Direttiva ELV. Questo studio identifica l'applicazione della legge come un **sistema "esterno"**, sottolineando che le aziende devono rispettare i requisiti legali necessari per le loro operazioni.

Al contrario, il **sistema "interno"** si riferisce ai processi operativi sviluppati dalle singole aziende per le loro attività quotidiane. Sebbene raramente discusso, questo aspetto è fondamentale per lo sviluppo e la sostenibilità di un'azienda. Il sistema operativo interno varia da un'azienda all'altra, con la sua gestione influenzata da fattori come la dimensione dell'azienda e le capacità tecnologiche.

Questo solleva una domanda importante: **il settore industriale può raggiungere la standardizzazione in vari sistemi operativi non solo a livello locale ma anche su scala globale?**

Seconda osservazione: Smantellamento come azienda

Gli ATF sono aziende private e hanno identità uniche plasmate dalle loro visioni e dai loro valori fondamentali. Tuttavia, un'azienda ha anche uno scopo economico.

Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF) strutturano le loro operazioni e strategie di mercato attorno al recupero e al riciclo dei materiali di scarto per generare ricavi attraverso un insieme diversificato di flussi di reddito che riflettono sia attività di recupero dei materiali

che di conformità lungo la catena del valore dei veicoli di fine vita (ELV). Maggiore è il volume di rifiuti recuperati, maggiore è il potenziale di profitto finanziario. (Vedi **Figura 4**)

La **principale fonte** di reddito per gli smantellatori efficienti è la **rivendita di componenti riutilizzabili**, che tipicamente offrono margini più elevati rispetto al riciclo di materiali sfusi perché questi componenti mantengono il valore funzionale e c'è una domanda crescente di soluzioni di riparazione competitive. Parallelamente, gli ATF ottengono ricavi significativi dalla **vendita di metalli ferrosi e non ferrosi recuperati da strutture e componenti dei veicoli**, tra cui acciaio, alluminio, rame e ottone, con rendimenti in gran parte dipendenti dai prezzi di mercato delle materie prime e dagli accordi contrattuali **con trituratori o riciclatori di metalli**. Una fonte di reddito particolarmente elevata ma limitata in volume deriva dai **catalizzatori**, la cui rilevanza economica è guidata dal recupero di metalli preziosi come **platino, palladio e rodio**.

Ulteriori entrate saranno generate dalla gestione delle batterie dei veicoli, incluse le **tradizionali unità al piombo-acido** e, sempre più, **batterie agli ioni di litio** provenienti da veicoli ibridi ed elettrici, che vengono trasferite a riciclatori specializzati tramite contratti dedicati definiti dalle nuove normative specifiche per le batterie. Generalmente, **gli ATF non ricevono una remunerazione esclusivamente per la ritiro dei veicoli, poiché le normative richiedono** che questo servizio sia fornito gratuitamente. Tuttavia, quando la retribuzione è insufficiente, le aziende spesso applicano una tariffa sostanziale per i loro servizi di lavorazione.

Sebbene il recupero **di fluidi e materiali pericolosi** come oli, refrigeranti e refrigeranti svolga principalmente funzioni regolatorie e di protezione ambientale, può parzialmente compensare i costi operativi tramite pagamenti di servizio o riduzione delle spese di smaltimento.

Contributi minori ma non trascurabili ai ricavi possono derivare dal **recupero di plastica, vetro e gomma**, anche se queste frazioni attualmente rimangono di valore economico limitato e sono più strettamente legate al rispetto degli obiettivi di riciclo che alla redditività diretta. In alcuni sistemi nazionali, i smantellatori beneficiano ulteriormente **di sussidi, incentivi o pagamenti da parte delle organizzazioni responsabili del produttore**, che remunerano la performance verificata dei trattamenti e la rendicontazione dei dati.

Infine, con l'**enfasi crescente sulla tracciabilità** digitale, la verifica dei contenuti riciclati e i passaporti a batterie, stanno emergendo dati e documentazione standardizzati per lo smantellamento come **potenziali fonti di reddito**. Lo smantellamento dei dati generati dagli ATF non è più necessario solo per la rendicontazione regolatoria alle autorità; serve sempre

più come prova verificabile che consente agli attori a valle come OEM, assicuratori e produttori di batterie di rispettare i propri obblighi di conformità. Di conseguenza, la documentazione standardizzata e verificabile per lo smantellamento si sta evolvendo da costo regolatorio a **un servizio che può essere remunerato contrattualmente, rafforzando il ruolo strategico degli ATF all'interno della catena circolare del valore automobilistica.**



Figura 4. Flussi di reddito di un sistema ATF

Terza osservazione: Confronto dei sistemi interni tra tre aziende: Italia, Belgio e Spagna.

Durante questa ricerca, lo studio ha coinvolto tre aziende di smantello: una a Roma, Italia; una ad Anversa, Belgio; e una a Siviglia, Spagna. Queste osservazioni si basano su visite sul campo piuttosto che su analisi statistiche. Per motivi di privacy, lo studio non rivela i nomi e si riferisce invece al paese in cui si è svolto.

Belgio, Italia e Spagna sono stati selezionati perché rappresentano contesti contrastanti ma complementari per indagare le operazioni di smantellamento e le pratiche di standardizzazione. **Il caso belga rappresenta una grande azienda di riciclaggio industriale dei metalli che ha integrato il trattamento dei veicoli di smantellamento** delle sue più ampie attività, mentre i **casi italiani e spagnoli** rappresentano imprese familiari specializzate **esclusivamente nello smantellamento e nel trattamento degli ELV**. Questo criterio teorico di campionamento consente il confronto di diverse strutture organizzative, scale operative e modelli di business, rafforzando così la generalizzazione analitica dei risultati e affrontando la lacuna di ricerca identificata riguardo all'applicabilità dei quadri di smantellamento standardizzati tra impianti ELV eterogenei.

I pilastri fondamentali della gestione dell'ELV sono stati identificati in questa ricerca come modelli che aiutano a inquadrare le osservazioni. I seguenti **Tabella 11**, **Tabella 12** e **Tabella 13** rivelano che le aziende, oltre alla Direttiva ELV, sono fortemente influenzate dai loro sistemi di gestione.

Tabella 11. Sistema di gestione interna di una società belga.

Paese	Belgio
Raccolta	L'impianto funziona principalmente come operatore di trattamento e triturazione su larga scala dei metalli, piuttosto che come un impianto autorizzato di trattamento orientato allo smantello. Le attività di raccolta sono organizzate per garantire un flusso continuo di veicoli adatti a lavorazioni ad alta produttività, riflettendo una logica industriale focalizzata su volume ed efficienza piuttosto che su un ingresso selettivo basato sulle condizioni del veicolo o sul potenziale di riutilizzo. Durante la fase di raccolta non sono stati osservati meccanismi specifici di preselezione dei veicoli basati su criteri di smantellamento o riutilizzo. I veicoli in fine vita entrano nell'impianto belga osservato dopo la radiazione tramite canali autorizzati e vengono trasferiti direttamente all'operazione centrata sul trituratore  <i>Figura 5. Collezione presso la Compagnia Belga.</i>
Depollution	Le attività di depollutione vengono svolte in un'area designata prima della demolizione e si concentrano sulla rimozione di componenti pericolosi, principalmente fluidi e batterie. L'impianto opera con un numero limitato di postazioni di depollutione, inclusa una piattaforma di sollevamento veicoli che consente di sollevare i veicoli per l'estrazione dei fluidi. I fluidi vengono drenati in contenitori chiaramente etichettati e codificati a colori, indicando un approccio strutturato alla gestione dei materiali pericolosi. La depolluamento viene effettuata come prerequisito per la demolizione e la conformità ai requisiti di sicurezza ambientale; tuttavia, questa fase è limitata nell'ambito e non si estende a una rimozione più ampia dei componenti oltre il minimo richiesto per un trattamento meccanico sicuro.



Figura 6. Dispolluamento presso la Società Belga.

Smantellamento

Le attività di smantellamento prima della demolizione sono minime e in gran parte limitate alla **rimozione degli pneumatici**. Non è stata osservata alcuna smontatura sistematica dei componenti per il riutilizzo o il riciclo separato.



Figura 7. Smantellamento presso la Compagnia Belga.

Dopo lo smantellamento, i veicoli vengono trasferiti direttamente in un'area di stoccaggio come materia prima per il trituratore di minerali. **La triturazione rappresenta la fase principale di creazione di valore** all'interno del processo di trattamento, con i veicoli sottoposti a riduci meccanica della dimensione che riduce il materiale a frammenti in scala centimetrica. I successivi processi di separazione secondaria e terziaria raffinano ulteriormente il materiale in frazioni su scala millimetrica utilizzando tecnologie di separazione meccaniche, magnetiche e basate sulla densità, permettendo il recupero di flussi di metalli ferrosi e non ferrosi. Mentre i veicoli a fine vita vengono introdotti nel processo di triturazione come input distinto, le frazioni metalliche risultanti vengono successivamente combinate con metalli provenienti da altri flussi di scarto, come il WEEE, nelle fasi di trattamento a valle.

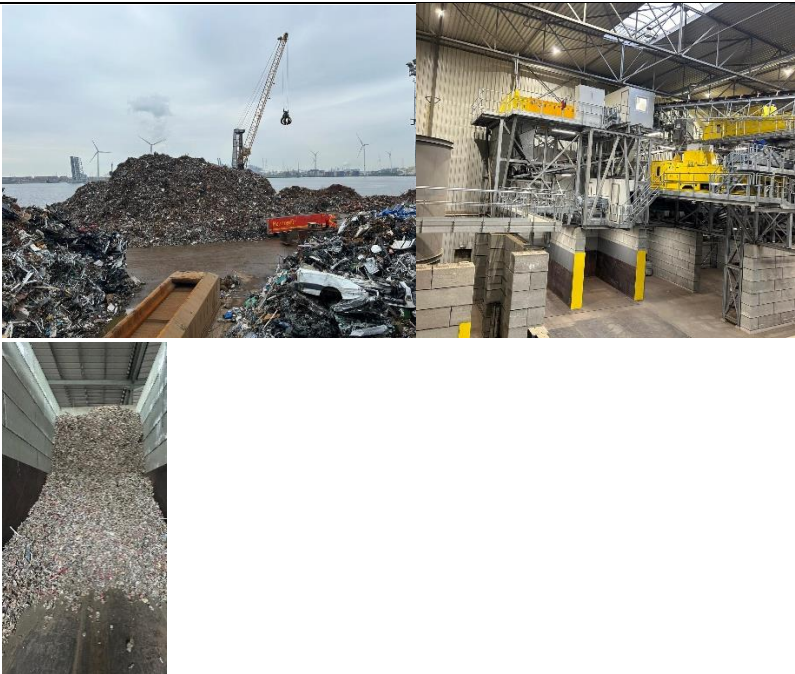
	 <i>Figura 8. Sistema di triturazione della Società Belga.</i>
Report	Le attività di rendicontazione si concentrano principalmente sugli output aggregati dei materiali piuttosto che sulle informazioni a livello di veicolo o componente. Non è stato osservato alcun uso operativo dei codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC) durante le fasi di depollution o pre-triturazione, e non è stata identificata alcuna documentazione in loco che dettagli decisioni di smantellamento o trattamento a livello di componenti. Le informazioni generate dall'impianto sono orientate alla segnalazione di massa delle frazioni ferrose e non ferrose recuperate, coerente con il ruolo dell'impianto come operatore di recupero di materiali sfusi. Di conseguenza, sebbene le prestazioni complessive di recupero dei materiali siano misurabili, la tracciabilità e la documentazione specifiche per ELV rimangono limitate, soprattutto dopo la triturazione e la miscelazione post-trattamento con altri flussi di rifiuti.

Tabella 12. Sistema di gestione interno di un'azienda italiana.

Paese	Italia
Raccolta	I veicoli in fine vita in Italia vengono raccolti tramite canali autorizzati, inclusa la consegna diretta da parte dei proprietari, i prelievi da parte dei concessionari e le assicurazioni. Quando un concessionario ritira un veicolo, può emettere un certificato di distruzione, che viene poi trasferito a un ATF per la sua lavorazione. In alternativa, gli ATF possono rilasciare il certificato al momento dell'accettazione. Gli ATF sono responsabili della registrazione dei veicoli ricevuti nel sistema nazionale e del completamento del processo di radiazione della registrazione. Questa struttura promuove la responsabilità condivisa tra concessionari e ATF per una gestione efficace dell'ELV, garantendo al contempo la conformità normativa.

	 <i>Figura 9. La fase di raccolta è ponderata e comporta l'accettazione per il trattamento.</i>
Depollution	Le attività di depollution si svolgono in un'area dedicata dotata di una piattaforma di sollevamento per veicoli che consente un accesso sistematico ai componenti sotto carrozzeria. Fluidi come olio motore, olio per trasmissione e refrigeranti, oltre ad altre sostanze pericolose, vengono estratti e le batterie vengono rimosse per mitigare i rischi ambientali. In conformità con la trasposizione nazionale della Direttiva ELV, la depollution deve essere completata entro un termine limitato, comunemente interpretato come un massimo di dieci giorni dopo l'accettazione del veicolo. Durante questa fase, l'attenzione operativa è sulla sicurezza ambientale e la conformità procedurale piuttosto che sulla classificazione dettagliata dei rifiuti, e i codici sui rifiuti non vengono applicati esplicitamente al momento dell'estrazione del fluido.   <i>Figura 10. La depollution deve essere completata entro 10 giorni dall'arrivo per estrarre materiali pericolosi.</i>
Smantellamento	Dopo la depollution, i veicoli entrano nella fase di smantellamento, durante la quale componenti e frazioni di materiali vengono rimossi selettivamente. Le attività di smantellamento sono organizzate utilizzando contenitori dedicati associati a specifici codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC), permettendo una gestione differenziata dei materiali e supportando percorsi di riciclo o smaltimento a valle. I componenti rimossi durante lo smantellamento sono collocati in aree chiaramente designate all'interno dell'impianto, riflettendo un approccio spazialmente strutturato alla separazione dei materiali. L'estrazione dei pezzi di ricambio riutilizzabili è guidata principalmente da Esperienza dell'operatore e valutazione pratica, piuttosto che secondo criteri statistici predefiniti o di selezione guidati dal mercato. In alcuni casi, i componenti riutilizzabili vengono immagazzinati in grandi quantità e conservati in loco fino a una potenziale domanda da parte del cliente. Sebbene

lo smantellamento dia priorità alla separazione dei materiali e alla conformità agli obblighi di rendicontazione, il processo non integra sistematicamente la tracciabilità a livello di veicolo nella gestione dei pezzi di ricambio.

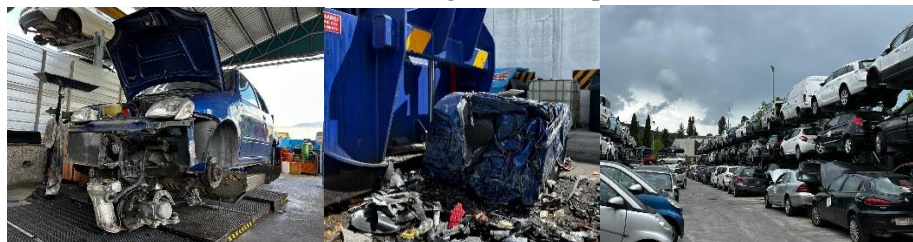


Figura 11. Smantellamento in base ai codici europei dei rifiuti e separazione dei pezzi di ricambio, seguito da selezione, pressatura e un periodo di attesa nel deposito di stoccaggio.

Report

Le attività di rendicontazione sono condotte in conformità con i requisiti normativi nazionali e si basano sull'aggregazione dei risultati di smantellamento utilizzando i codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti. Le quantità di frazioni di rifiuti recuperati sono riportate accuratamente alle autorità competenti, fornendo una panoramica affidabile delle prestazioni di recupero dei materiali. Tuttavia, i **codici dei rifiuti vengono applicati principalmente nella fase di rendicontazione** piuttosto che essere integrati in tutto il flusso di lavoro operativo dello smantellamento. Di conseguenza, sebbene i dati riportati siano precisi dal punto di vista normativo, il sistema non sfrutta pienamente la tracciabilità a livello di componenti o veicoli. Ciò limita la visibilità delle operazioni di smantellamento per analisi strategiche e ricerca accademica, nonostante l'accuratezza complessiva della rendicontazione di conformità.



Figura 12. I rapporti annuali vengono generati sulla base delle classificazioni dei Codici Europei dei Rifiuti. Utilizzando la dichiarazione ambientale annuale (MUD-Modello Unico di Dichiarazione ambientale)

Tabella 13. Sistema di gestione interna di una società spagnola.

Paese	Spagna
Raccolta	I veicoli in fine vita avanzano nell'impianto spagnolo osservato attraverso molteplici canali di recupero, inclusi accordi formali con i comuni locali, accordi contrattuali con concessionari auto e consegna diretta da parte dei proprietari finali. Nei casi di consegna diretta da parte di privati, l'azienda può fornire un risarcimento economico per lo smaltimento del veicolo, tipicamente tra circa 150 e 200 €, a seconda del peso, dell'età e dei prezzi di mercato del rottame in vigore. Al momento dell'accettazione, ai veicoli viene rilasciato un certificato di distruzione e la responsabilità della radiazione del veicolo è assunta dall'Impianto di Trattamento Autorizzato anziché da un'autorità governativa. A Una percentuale significativa degli afflussi di veicoli deriva da veicoli abbandonati raccolte secondo accordi ufficiali con il consiglio comunale. In tali casi, l'ATF è responsabile del recupero dei veicoli dagli spazi pubblici e del loro trasferimento in un'area di stoccaggio riservata all'interno della struttura. L'identificazione dell'ultimo proprietario registrato e L'autorizzazione alla distruzione rimane responsabilità dell'autorità pubblica. Quando la proprietà non può essere accerta, il comune fornisce all'ATF un elenco formale dei veicoli idonei alla distruzione. L'intervallo di tempo tra il ritiro del veicolo e l'autorizzazione all'inizio del trattamento può variare considerevolmente, che variano da diversi mesi fino a cinque anni, a seconda delle procedure amministrative.  <i>Figura 13. L'ufficio di cancellazione.</i>
Depollution	Una volta ottenuta l'autorizzazione, le attività di depurazione vengono effettuate utilizzando una piattaforma di sollevamento per veicoli che consente di sollevare l'ELV per l'estrazione dei fluidi e la rimozione delle batterie. La depurazione si concentra principalmente sulla rimozione di sostanze pericolose, inclusi oli e batterie, per mitigare i rischi ambientali associati al loro stoccaggio e manipolazione. Nei casi di abbandono, ELV, l'inizio dell'inquinamento non è immediato in tutti i casi ed è influenzato dalle tempistiche amministrative relative alla gestione dei veicoli abbandonati. Non esiste un limite di tempo tra l'accettazione e la depurazione del veicolo, come osservato, con conseguente lunghi periodi di stoccaggio prima del trattamento.

	 <i>Figura 14. Area di depurazione.</i>
Smantellamento	Le attività di smantellamento sono organizzate principalmente in base alla somiglianza dei materiali piuttosto che a schemi formali di classificazione dei rifiuti. Quando sono disponibili più veicoli dello stesso modello, solo il veicolo meglio conservato viene trattenuto come fonte di ricambio riutilizzabili, mentre i componenti dei veicoli rimanenti vengono smontati e destinati al recupero dei materiali. I pezzi di ricambio riutilizzabili sono raggruppati per marchio del veicolo, ma non sono inventariati sistematicamente e le quantità di componenti riutilizzabili non sono formalmente quantificate. Di conseguenza, la gestione dei pezzi di ricambio si basa in gran parte sull'esperienza dell'operatore piuttosto che su criteri di selezione strutturati o sistemi di controllo dell'inventario, il che limita la tracciabilità e la accountability nel processo di smontaggio. La struttura non utilizza attrezzature interne per la pressatura. Invece, i residui di smantellamento e le frazioni di materiale vengono accumulati in loco in aree designate fino a raggiungere volumi sufficienti, dopodiché le operazioni di pressatura vengono esternalizzate a fornitori di servizi esterni. La tempistica delle vendite dei materiali è gestita strategicamente, mantenendo i materiali sfusi in loco fino a condizioni di mercato favorevoli, in particolare per i prezzi dei metalli ferrosi e non ferrosi.  <i>Figura 15. I materiali sfusi sono pronti per essere pressati.</i>
Reportage	Le attività di reportistica sono principalmente orientate al rispetto dei requisiti normativi piuttosto che al supporto dell'ottimizzazione interna dei processi o dell'analisi strategica. Sebbene vengano rilasciati certificati di distruzione e vengano rispettati gli obblighi regolatori, durante la fase di smantellamento vi è limitato l'uso di codici standardizzati di classificazione dei rifiuti e i dati sul recupero dei pezzi di ricambio non vengono registrati sistematicamente. Di conseguenza, la rendicontazione si concentra sui flussi aggregati di materiali piuttosto che sulle informazioni specifiche del veicolo o a livello di

componente. Questo limita la visibilità delle prestazioni di smantellamento oltre i limiti di conformità e limita la disponibilità di dati strutturati per analisi comparative, valutazione regolatoria e ricerca accademica.



Figura 16. Pezzi di ricambio riutilizzabili (motori).

In conclusione, i sistemi interni di gestione delle aziende mostrano differenze significative, nonostante condividano pilastri fondamentali comuni che rivelano schemi evidenti. **Un aspetto costante** di queste aziende è **il processo di depurazione**, che rimane in gran parte invariato. Tuttavia, una distinzione chiave è **che la legislazione italiana richiede che la depollution avvenga entro 10 giorni** dall'accettazione dell'ELV, mentre altri paesi non impongono tale limite temporale. Secondo il nuovo regolamento, la depurazione deve **essere completata entro 30 giorni dalla consegna dell'ELV all'ATF**.

Inoltre, **la burocrazia influisce direttamente sull'ambiente**. Gli ATF non possono avviare il processo di depurazione per i veicoli abbandonati **finché non sono superati gli ostacoli burocratici**. Questo non solo aumenta le spese del consiglio, ma **danneggia anche l'ambiente con tempi di attesa sconosciuti per la depurazione**. Di fatto, ciò può portare a un **accumulo significativo di veicoli abbandonati non inquinati di vari anni, immagazzinati in grandi campi**. Il consiglio dovrebbe stabilire un **periodo di attesa fisso** e dare priorità alle preoccupazioni ambientali rispetto alla generazione di profitti fiscali, garantendo costi minimi per i cittadini.

Dopo alcuni mesi da questa osservazione, il nuovo regolamento propone alcune soluzioni, come la dichiarazione di "Stato di Abbandono" con criteri indicativi nell'Allegato I Parte B e **nell'Art. 24 (1)**; se non è identificato alcun proprietario, deve essere consegnato per il trattamento a un ATF. Una volta consegnato, si applica l'Art. 28 (1); l'ATF è legalmente tenuto a completare le operazioni di depurazione entro 30 giorni dalla consegna.

Inoltre, attualmente non esiste **una piattaforma centralizzata nell'UE che elenchi tutte le trasposizioni nazionali della Direttiva 2000/53/CE sui Veicoli di Fine Vita (ELV)**.

Questa assenza è importante perché ostacola l'armonizzazione e influisce sulla tracciabilità dei dati. L'emergere di varie leggi nazionali può creare confusione, sottolineando la necessità di un sistema coerente di codici che copra tutta la legislazione correlata. **Ciò contribuirebbe a migliorare la precisione e a garantire una migliore supervisione delle trasposizioni nazionali.** In Italia e Spagna, le trasposizioni si basano su leggi specifiche, mentre il Belgio segue un sistema di gestione ELV distinto.

Sebbene attualmente non esista una piattaforma di tracciabilità dei dati a livello UE, l'UE ha sviluppato un altro tipo di sistema elettronico. In questo contesto, il nuovo regolamento (Articolo 46) ha istituito il **MOVE-HUB**.

Un sistema che consente lo scambio in tempo reale di informazioni sulla registrazione e lo stato del veicolo tra gli Stati membri. Questo aiuterà le autorità a verificare se un veicolo è davvero abbandonato o rubato, accelerando il processo di bonifica e depurazione.

Durante l'osservazione della società belga, ho identificato **vulnerabilità operative che potrebbero comportare sanzioni significative ai sensi del nuovo regolamento.** Come caso rappresentativo, l'impianto belga osservato e centrato sul trituratore presenta carenze strutturali quando valutato rispetto ai requisiti di trattamento obbligatorio stabiliti negli **art. 29** e **art. 27**.

Innanzitutto, la pratica attuale dell'impianto di limitare lo smantellamento pre-triturazione alla depurazione e alla rimozione degli pneumatici non rispetta gli obblighi obbligatori di rimozione per componenti specifici di alto valore. Ai sensi dell'Art. 29(1), le parti elencate nell'Allegato VIII, Parte C; in particolare i motori a e-drive e i catalizzatori, devono essere estratte prima della triturazione o del compattamento. Sebbene il Regolamento consenta la rimozione distruttiva se si dimostra che i metodi non distruttivi comportano costi economici sproporzionati, questa struttura manca delle valutazioni tecniche documentate necessarie per giustificare la totale omissione di tali rimozioni.

In secondo luogo, la dipendenza dell'impianto dalla triturazione come fase primaria di creazione di valore è un approccio ad alto rischio secondo il nuovo quadro. Questo processo distrugge irreversibilmente l'identità dei componenti, rendendo impossibile effettuare la valutazione obbligatoria richiesta dall'Articolo 30 per determinarne l'idoneità al riutilizzo, alla rimanifattura o alla ristrutturazione. Di conseguenza, la struttura non può generare prove specifiche per i componenti né rispettare i requisiti obbligatori di etichettatura legati al Numero di Identificazione del Veicolo (VIN), che ora sono prerequisiti legali affinché le parti vengano considerate beni di "seconda vita" piuttosto che rifiuti.

In terzo luogo, sebbene l'impianto introduca gli ELV come input distinto, la sua pratica di combinare frazioni ferrose e non ferrose risultanti con altri flussi di rifiuti, come i WEEE,

introduce una perdita critica di tracciabilità. **L'art. 27(3) e l'Allegato VIII, Parte G** vietano severamente tale miscelazione a meno che l'impianto non possa dimostrare che il processo combinato non riduce la qualità dei flussi di rifiuti e che valori limiti specifici di produzione, come un contenuto metallico inferiore all'1% nei residui, siano costantemente rispettati. Questo è un esempio; per mantenere la resilienza normativa, l'impianto deve passare all'approccio basato sui dati incorporato dal modello Lampone. Ciò richiede la fornitura **di rapporti di bilancio massico verificabili** e di un **contratto scritto formale** come previsto dall'**Allegato VIII, Parte G (3)**. Questa documentazione è una necessità legale per giustificare **le esenzioni dalla Post-Shredder Technology (PST)** specificando la qualità dei materiali secondari e gli standard tecnici di lavorazione. Senza questi **flussi di materiali tracciabili** e dati verificati, l'impianto si trova ad affrontare vulnerabilità operative che potrebbero compromettere la sua competitività economica e la sua capacità di ottenere un rimborso finanziario completo secondo il **principio del "costo netto"** della Responsabilità Estesa del Produttore (EPR).

Per concludere, lo studio identifica una concorrenza attiva per contratti pubblici di smantellamento, inclusi l'acquisto di veicoli militari, dove l'accesso è condizionato a una conformità procedurale avanzata e a una formazione specializzata. In pratica, questi **requisiti sono soddisfatti principalmente da grandi impianti, che possono assorbire i costi di formazione e certificazione**, mentre gli operatori più piccoli sono spesso esclusi per risorse limitate piuttosto che per mancata conformità. Questa dinamica contribuisce a squilibri strutturali nell'accesso al mercato e sottolinea la necessità di quadri di conformità standardizzati e scalabili, tema ulteriormente affrontato nell'ultimo capitolo attraverso raccomandazioni politiche e di governance per garantire **una partecipazione più equa nel settore dello smantellamento ELV**.

2.8.3 Trasposizione nazionale della Direttiva ELV

La Direttiva 2000/53/CE stabilisce un quadro europeo comune per la gestione dei Veicoli di fine vita (ELV). Definisce principi chiave, responsabilità e obiettivi di prestazione relativi alla depurazione, allo smantellamento, al riutilizzo, al riciclo e al recupero di questi veicoli. Tuttavia, come direttiva, richiede la trasposizione nel diritto nazionale, offrendo agli Stati membri una certa flessibilità nel modo in cui applicano, applicano e operano le sue disposizioni. Lo studio non fornisce una revisione dettagliata di ogni legge nazionale tramite articolo, ma evidenzia le disparità che interrompono l'armonizzazione dell'UE, rendendo inutilizzabili i dati raccolti.

Prima Osservazione: L'Unione Europea non dispone di un sistema giuridico centralizzato che integri le leggi nazionali di tutti gli Stati membri

Non esiste una piattaforma centralizzata dell'UE per trovare tutte le trasposizioni nazionali della Direttiva ELV 2000/53/CE. Questo è importante per garantire armonizzazione e supportare la tracciabilità dei dati. L '**emergere di diverse leggi nazionali genera confusione**; deve esistere un unico codice per tutte le leggi correlate. Questo aiuterà a garantire maggiore precisione e controllo sulla visione della trasposizione nazionale. La trasposizione in Italia e Spagna si basa su leggi specifiche, mentre il Belgio ha un sistema di gestione ELV specifico.

Il Belgio traspone e attua la Direttiva 2000/53/CE attraverso la legislazione regionale, riflettendo la sua struttura istituzionale federale. La Direttiva non è emanata tramite una legge nazionale unica, ma tramite strumenti giuridici coordinati adottati dalle tre Regioni: Fiandre, Vallonia e Regione di Bruxelles-Capitale.

In **Fiandre**, la gestione del VEL è regolata dal Vlaams Reglement betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen (VLAREMA), che integra i veicoli in fine vita in un quadro più ampio per la gestione sostenibile dei materiali e dei rifiuti.(EMIS Navigator, s.d.)

In **Vallonia**, la Direttiva è attuata principalmente tramite il Décret relatif aux déchets (Decreto sui rifiuti), che fa esplicitamente riferimento alla Direttiva 2000/53/CE e stabilisce la base giuridica per le attività di trattamento del VFU.

Nella **Regione di Bruxelles-Capitale**, la gestione dei veicoli di valore è regolata da specifiche convenzioni ambientali e decreti sui veicoli di fine vita utile, integrati da una legislazione generale sui permessi ambientali.

Nonostante le differenze regionali, questi strumenti giuridici garantiscono collettivamente la conformità formale del Belgio alla Direttiva ELV. Poiché il sistema è suddiviso a livello regionale, il Belgio utilizza un organismo di gestione senza scopo di lucro chiamato **Febelauto** per fornire una struttura nazionale unificata.

Febelauto funge da ponte tra le tre regioni e l'industria automobilistica (produttori/importatori). Gestisce una rete di oltre 108 ATF in tutte le regioni dove le auto possono essere consegnate. Febelauto raccoglie dati da tutti i disgregatori e riporta i tassi di riciclo e recupero alle autorità regionali, garantendo il raggiungimento dell'obiettivo del 95% di recupero.

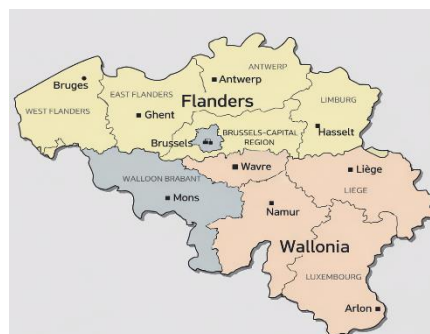


Figura 17. La struttura federale del Belgio.

In **Italia**, la Direttiva 2000/53/CE è principalmente trasposta tramite il Decreto Legislativo n. 209 del 24 giugno 2003, "Attuazione della direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso". Questo decreto stabilisce il quadro giuridico che regola i veicoli di fine vita (ELV), definendo gli obblighi relativi alla depolluzione, allo smantellamento, agli obiettivi di recupero e alla responsabilità dei produttori.

Il Decreto Legislativo 209/2003 è integrato dal Decreto Legislativo n. 152/2006 (Codice Ambientale), che fornisce il quadro nazionale generale per la gestione dei rifiuti, inclusi i requisiti di classificazione, permessi e rendicontazione dei rifiuti applicabili alle attività di trattamento del VF. I seguenti **Tabella 14** mostra la normativa UE relativa al regolamento sui VFI in Italia.

Tabella 14. Legislazione europea relativa alle normative sui veicoli di fine vita in Italia.

Legislazione UE	Corrispondente legislazione italiana	Integrazione/Implementazione
Direttiva 2000/53/CE	Decreto 24 giugno 2003, n.209 (DECRETO LEGISLATIVO 24 Giugno 2003, n. 209 - Normattiva, s.d.)] e successive emendamenti e Annessi	Applica la direttiva sui veicoli in fine vita, fissando obiettivi di riutilizzo, riciclo e recupero. Art. 7, 2.-bis (D. Lgs. 209/2003) Dichiarazione MUD.
Decisione 2001/753/CE		Descrive un questionario per gli Stati membri da riferire sull'attuazione della Direttiva sui Veicoli di Fine Vita (Direttiva 2000/53/CE). Essa standardizza i requisiti di rendicontazione per garantire coerenza e comparabilità in tutta l'UE.
Decisione 2005/293/CE		Fissa obiettivi per il riutilizzo, il riciclo e il recupero dei veicoli in fine vita utile nell'ambito del decreto previsto dalla Direttiva 2000/53/CE. Armonizza i metodi di calcolo per questi obiettivi al fine di garantire la comparabilità dei dati tra gli Stati membri.
Decisione 2000/532/CE	Decreto 3 aprile 2006, n. 152	Questo decreto riorganizza, coordina e integra la legislazione ambientale in Italia. Copre vari aspetti ambientali. Fa riferimento al Catalogo Europeo dei Rifiuti per la classificazione dei rifiuti e le definizioni dei rifiuti pericolosi. Integra classificazioni UE di gestione dei rifiuti, valutazioni ambientali e misure per la protezione del suolo, la gestione delle risorse idriche, la gestione dei rifiuti, la qualità dell'aria e il risarcimento per i danni ambientali.
Direttiva 2003/4/CE	Decreto 19 agosto 2005, n. 195	Questo decreto attua la direttiva garantendo l'accesso pubblico alle informazioni ambientali detenute dalle autorità pubbliche in Italia.
	Decreto 11 aprile 2011, n. 82	In assenza di una direttiva UE specifica sugli pneumatici usati, l'Italia ha sviluppato una legislazione nazionale specifica.
Direttiva 2018/849	Decreto 3 settembre 2019, n.119	Modifica il Decreto italiano 24 giugno 2003 n.209. Migliora la documentazione, la certificazione e la rendicontazione, nonché la corretta gestione e tracciabilità. Il decreto rafforza inoltre la responsabilità estesa del produttore e promuove modelli sostenibili di produzione e consumo. L'obbligo di pesatura e la relativa comunicazione per il VFI sono stati introdotti in Italia tramite il Modello di Dichiarazione Unica Ambientale (MUD).

Regolamento (CE) n. 842/2006 e Regolamento (CE) n. 307/2008.	Decreto Presidenziale n. 43/2012	Si riferisce ai gas serra fluorurati. Stabilisce le procedure di certificazione per il personale e le aziende che gestiscono questi gas. Il decreto copre il recupero di questi gas dai sistemi di condizionamento dei veicoli e la formazione necessaria per il personale coinvolto in questi compiti.
---	----------------------------------	---

In **Spagna**, la Direttiva 2000/53/CE è trasposta principalmente tramite il Decreto Reale 1383/2002,

Decreto Reale 1383/2002 del 20 dicembre (sobre gestión de vehículos al final de su vida útil), successivamente aggiornato dal Decreto Reale 265/2021 per migliorare la gestione ambientale dei veicoli. La Spagna utilizza anche il Decreto Reale 20/2017 sui veicoli in fine vita, che ha ulteriormente perfezionato le regole per gli impianti di trattamento autorizzati (ATF).

Seconda osservazione: Competenza di registrazione ATF

Nelle analisi degli Stati membri Belgio, Italia e Spagna, la registrazione e l'autorizzazione degli **ATF** sono effettuate esclusivamente dalle autorità ambientali, in conformità con la trasposizione nazionale della **Direttiva 2000/53/CE** e il quadro generale della legislazione UE sui rifiuti.

In tutti i casi, **l'autorizzazione ATF costituisce un permesso ambientale. Le autorità ambientali** sono responsabili di valutare la capacità tecnica, ambientale e organizzativa degli operatori per garantire il rispetto degli obblighi di dispollution, smantellamento, stoccaggio e rendicontazione. Le autorità ambientali stabiliscono l'ambito delle attività di trattamento ELV consentite, la capacità massima autorizzata di trattamento, gli standard tecnici e di sicurezza, nonché gli obblighi di monitoraggio e rendicontazione.

In Belgio, gli ATF sono autorizzati dalle **autorità ambientali regionali** (Fiandre, Vallonia, Regione di Bruxelles-Capitale) secondo la legislazione regionale sui rifiuti (ad esempio VLAREMA, Decreto Vallone sui Rifiuti).

In **Italia**, gli ATF sono autorizzati dalle autorità ambientali regionali o provinciali ai sensi del Decreto Legislativo 209/2003 e del Decreto Legislativo 152/2006, che vengono trasformati in **un'Autorizzazione Integrata per l'Ambiente (AIA)**.

In **Spagna**, l'autorizzazione per gli ATF (**Centros Autorizados de Tratamiento-CATs**) è concessa dall'autorità ambientale della Comunità Autonoma dove opera la struttura, ai sensi del Decreto Reale 265/2021.

Terza Osservazione: L'autorità competente per deregistrare un veicolo e rilasciare il Certificato di Distruzione

In Belgio, Italia e Spagna, la radiazione dei veicoli avviene all' **interno dei sistemi nazionali di registrazione dei veicoli gestiti dalle autorità dei trasporti** piuttosto che dalle autorità ambientali. Queste autorità dei trasporti sono responsabili della gestione dei registri ufficiali dei veicoli e della formale rimozione dalla circolazione dei veicoli in fine vita.

Tuttavia, sebbene la **raccolta dei dati e la gestione del registro siano sempre gestite da un'autorità di trasporto**, le entità sono autorizzate a innescare la radiazione rilasciando un **Certificato di Distruzione**, differendo da paese a paese, introducendo un ulteriore livello di eterogeneità istituzionale.

In **Belgio**, la radiazione della registrazione dei veicoli è gestita centralmente dalla **Direction pour l'Immatriculation des Véhicules (DIV)** a livello federale. I **certificati di distruzione** sono rilasciati esclusivamente dagli ATF autorizzati che operano all'interno del sistema FEBELAUTO, che poi comunicano la radiazione alla DIV. Altri attori non sono autorizzati a deregistrare i veicoli.

In **Italia**, la radiazione dei veicoli è gestita dal **Pubblico Registro Automobilistico (PRA)** sotto l'**Automobile Club d'Italia**. Il rilascio del **Certificato di Distruzione** che consente la radiazione può essere effettuato dagli **ATF e dai concessionari ufficiali di veicoli**, quando agiscono come punti di raccolta autorizzati a trasferire l'ELV a un ATF. Questa **doppia idoneità** consente a più attori di avviare la cancellazione, aumentando la flessibilità del sistema ma introducendo anche una maggiore complessità istituzionale all'interfaccia tra raccolta e trattamento.

In Spagna, la radiazione dei veicoli è gestita **dalla Direzione Generale del Traffico (DGT)**. **Solo gli ATF** sono legalmente autorizzati a rilasciare il **Certificato di Distruzione** e quindi a innescare la radiazione. I concessionari e altri intermediari non sono autorizzati a deregistrare i VFI in modo indipendente. Questa restrizione crea una **catena di cancellazione della registrazione più rigidamente** controllata, collegando direttamente la fine della vita amministrativa del veicolo all'ingresso in un impianto di trattamento autorizzato.

4ª Osservazione: Segnalazione dei dati ELV

Ai sensi della **Direttiva 2000/53/CE**, gli Stati membri sono tenuti a riportare dati sulle prestazioni dei veicoli in fine vita (ELV) alla Commissione Europea. Ciò include informazioni sugli obiettivi di riutilizzo, riciclo e recupero. Inoltre, i dati sui veicoli in fine vita e sui loro

componenti devono essere riportati in conformità con **la Decisione della Commissione 2005/293/CE**.

Gli Stati membri sono tenuti a riportare dati sul numero totale di veicoli in fine vita (ELV) generati. Tuttavia, in pratica, non tutti i paesi sono in grado di distinguere con precisione tra i prodotti di smantellamento, come lo smantellamento totale, la triturazione totale, e le quantità specifiche di materiale inviato per il riutilizzo, il riciclo e il recupero, sia a livello nazionale che esportato.

In **Belgio**, i dati sui veicoli di valore del valore sono raccolti principalmente tramite il sistema FEBELAUTO, che aggrega informazioni provenienti da Strutture di Trattamento Autorizzate e operatori a valle. Le autorità ambientali regionali (Fiandre, Vallonia, Regione di Bruxelles-Capitale) convalidano i dati, mentre i dati sulla radiazione dei veicoli sono collegati tramite la DIV federale.

I dataset validati vengono poi consolidati e trasmessi alla **Commissione Europea** dagli organismi nazionali competenti, ancora **tramite** Eurostat e canali ufficiali di segnalazione dell'attuazione dell'ELV. L'uso da parte del Belgio di un **sistema di coordinamento basato sulla responsabilità del produttore** facilita l'aggregazione dei dati, ma le differenze regionali nei formati di segnalazione persistono prima della presentazione dell'UE.

In **Italia**, i dati sui VFI sono raccolti tramite meccanismi nazionali di segnalazione dei rifiuti, principalmente il **Modello Unico di Dichiarazione ambientale (MUD)** che deve essere presentato annualmente e si riferisce alle attività di trattamento dell'ELV svolte nell'anno solare precedente. I dati sono raccolti dalle **Camere di Commercio** e messi a disposizione delle autorità ambientali. Questi dataset sono consolidati a livello nazionale dall'ISPRA (Istituto per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e trasmessi alla Commissione Europea tramite il quadro normativo UE sulle statistiche dei rifiuti, tipicamente tramite Eurostat e rapporti periodici di attuazione richiesti dalla Direttiva VFU.

In **Spagna**, i dati sui Veicoli di Fine Vita (ELV) vengono raccolti dalle Strutture di Trattamento Autorizzate (CAT) tramite un rapporto annuale obbligatorio noto come **Modello di Rapporto Sommario (MAG)**.(León, s.d.) Questo rapporto è compilato **Utilizzo dei codici europei dei rifiuti** e presentati alle autorità ambientali delle Comunità Autonome. I dati regionali vengono poi aggregati a livello nazionale dal **Ministero per la Transizione Ecologica e la Sfida Demografica**. La Spagna trasmette dati consolidati sulla VFI alla Commissione Europea, che li gestisce tramite Eurostat. Sebbene la Spagna applichi una

segnalazione più specifica per la VFI a livello nazionale, **Armonizzazione dei dati** tra le regioni rimane un prerequisito prima della trasmissione UE.

2.8.4 Conclusioni tratte da osservazioni.

In conclusione, **Autorità ambientali** in tutti e tre i paesi rilasciano i permessi per diventare una Struttura di Trattamento Autorizzata. Inoltre, **Autorità dei trasporti** sono responsabili della gestione della registrazione dei veicoli in ogni paese. **Radiazione** di veicoli vengono effettuati **esclusivamente da ATF in Spagna e Belgio**. In Italia, **Concessionari di veicoli** può gestire questo compito una volta che il nuovo cliente consegna il Veicolo di Fine Vita (ELV) per la lavorazione, inclusi **il rilascio di un Certificato di Distruzione**. Il Belgio dispone di un sistema centralizzato e integrato di segnalazione dei veicoli di fine vita (ELV), mentre Italia e Spagna si basano su una struttura di rendicontazione frammentata e multi autorità. (Vedi **Figura 18**).

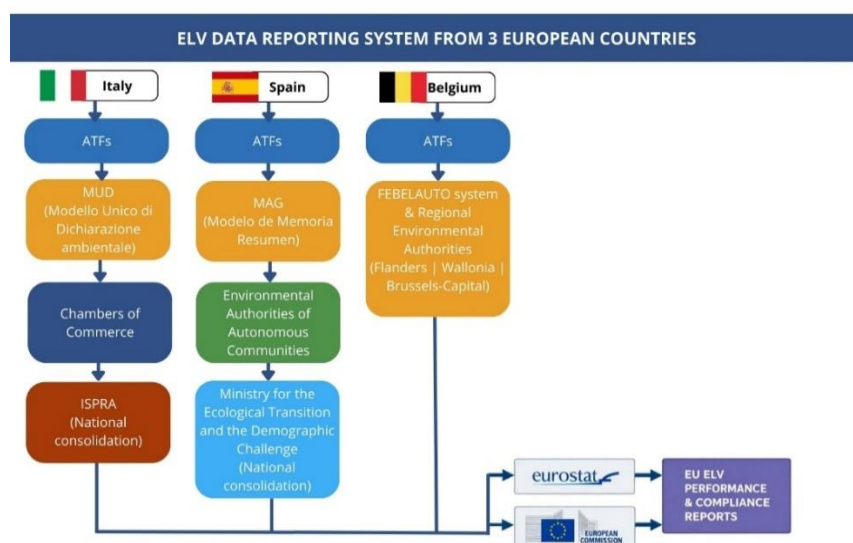


Figura 18. Livelli di Reporting dei Dati ELV, il primo livello giallo rappresenta i dati, in cui il Belgio dispone di un sistema integrato di rendicontazione dei dati ELV.

Dopo questa osservazione, il sistema di rendicontazione ELV nell'Unione Europea **può essere caratterizzato come istituzionalmente completo** ma **operativamente frammentato**. Tuttavia, l'assenza di una struttura armonizzata di rendicontazione a monte significa che gli indicatori a livello UE riflettono risultati aggregati piuttosto che processi standardizzati. Questo contrasto tra ambizione normativa ed esecuzione operativa sottolinea la necessità di quadri di rendicontazione basati su processi e interoperabili, capaci di allineare attività di smantellamento, flussi di materiali e classificazione dei rifiuti tra gli Stati membri.

Inoltre, l'assenza di rendicontazione rappresenta un problema significativo. Uno studio di Argus ha rilevato che mancavano rapporti provenienti da Spagna e Paesi Bassi per il periodo 2011-2014. Grecia e Finlandia hanno presentato i loro rapporti con notevoli ritardi nell'aprile

2016, anche se la scadenza per la pubblicazione era il 30 settembre 2015. Tuttavia, tutti i rapporti erano completi per il periodo dal 2008 al 2011.(ARGUS, 2016)

Capitolo 3 Metodologia della ricerca

Il capitolo precedente ha evidenziato l'esistenza di modelli organizzativi distinti all'interno dell'industria europea del VLE. **Il caso belga rappresenta una grande azienda di riciclaggio industriale dei metalli che ha integrato il trattamento dell'ELV** nelle sue più ampie attività di riciclaggio, mentre i **casi italiano e spagnolo** rappresentano imprese familiari specializzate **esclusivamente nello smantellamento e nel trattamento dell'ELV**. Questo criterio teorico di campionamento consente il confronto di diverse strutture organizzative, scale operative e modelli di business, rafforzando così la generalizzazione analitica dei risultati e colmando la lacuna di ricerca individuata riguardo all'applicabilità di quadri standardizzati di smantellamento tra impianti ELV eterogenei.

Partendo da questa logica, questo capitolo delinea il design della ricerca e l'approccio metodologico adottato per affrontare gli obiettivi di ricerca e le domande di ricerca di questo studio dottorale. Data la complessità dei sistemi di smantellamento dei veicoli a fine vita (ELV) e la natura multidimensionale della standardizzazione, la ricerca impiega **metodi misti e progettazione multilivello** che integra approcci qualitativi e quantitativi. La metodologia è strutturata per supportare sia lo sviluppo di un quadro di accountability **per le operazioni di smantellamento (RQ1)** sia la **valutazione della standardizzazione** per migliorare l'efficienza e la preparazione degli Impianti Autorizzati al Trattamento (ATF) (RQ2).

3.1 Progettazione della Ricerca

Questa ricerca adotta un disegno di ricerca multilivello (Vedi **Figura 19**) combinando **Analisi a livello micro-livello**: studio di caso approfondito di un ATF italiano (Pomili Demolizioni Speciali S.R.L.) utilizzando Material Flow Analisi e mappatura del codice dei rifiuti (RQ1) e **Analisi a livello meso-livello**: Un'indagine nazionale sugli ATF italiani (RQ2).



Figura 19. Analisi di ricerca.

Questo design consente la triangolazione tra dimensioni operative, regolamentari e tecnologiche, consentendo così una comprensione completa delle dinamiche di standardizzazione attraverso contesti e scale differenti.

3.2 Domande di ricerca e allineamento metodologico

La struttura metodologica dello studio è esplicitamente allineata con le due domande di ricerca:

RQ1. Quale quadro può essere adottato per migliorare l'accountability del processo di smantellamento dei veicoli fuori uso (ELV)?

RQ2. In che modo la standardizzazione migliora l'efficienza e la preparazione degli Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF) per gli ELV nell'Unione Europea?

Per affrontare le domande di ricerca, è stato necessario impiegare **tre metodologie distinte e processi chiave** (Vedi **Tabella 15**) per giustificare perché l'industria ha bisogno di un modello operativo standardizzato e come la standardizzazione possa migliorare il settore. Il **Revisione sistematica della letteratura**. In questo studio si fornisce prove del **Sotto uso dei codici sui rifiuti nel mondo accademico**. **Lo studio di caso dimostra che il modello sviluppato per affrontare il sottoutilizzo dei codici dei rifiuti nel mondo accademico può essere implementato nell'industria**. L'ultimo processo mira a dimostrare che la strategia attuale per raggiungere un'industria più sostenibile è frammentata. A livello operativo, la standardizzazione è essenziale a causa delle richieste politiche. Con il passaggio dell'industria verso i veicoli elettrici, è fondamentale promuovere e fornire un modello di standardizzazione. Questo approccio consente all'industria di adattarsi più rapidamente ai sistemi in evoluzione.

Tabella 15. Struttura della ricerca

Capitolo	Focus Analitico	RQ Indirizzato
Capitolo 4	Revisione sistematica della letteratura e identificazione delle lacune concettuali e metodologiche nello smantellamento dell'ELV e nella classificazione dei rifiuti	RQ1 & RQ2
Capitolo 5	Caso di studio, applicazione del MFA e sviluppo del Modello LAMPONE per l'accountability nei processi di smantellamento	RQ1
Capitolo 6	Indagine sugli ATF italiani per valutarne la preparazione allo smantellamento di veicoli elettrici e ibridi	RQ2

Per evitare confusione, le metodologie utilizzate per ciascun processo saranno descritte nei rispettivi capitoli. In particolare, **il Capitolo 4** dettaglia la metodologia e l'analisi per la revisione sistematica della letteratura. **Il Capitolo 5** delinea la metodologia per lo sviluppo del Modello Lampone, insieme alle applicazioni di case study e all'Analisi del Flusso di Materiali (MFA). Nel **Capitolo 6** vengono discusse la metodologia e i risultati dell'indagine nazionale sugli ATF italiani.

Capitolo 4 Revisione sistematica della letteratura

4.1 Metodologia della revisione sistematica della letteratura

Questo studio ha arricchito l'analisi empirica esaminando sistematicamente casi di studio scientifici rilevanti provenienti da importanti banche dati accademiche. Il nostro obiettivo principale era esaminare rigorosamente l'applicazione e l'importanza dei Codici Europei dei Rifiuti (EWC) nella letteratura accademica, in particolare riguardo alla gestione dei veicoli di valore dei veicoli di valore (ELV) in Europa e a quadri comparabili a livello internazionale. Inoltre, abbiamo mirato a individuare progressi dal 2000, con particolare attenzione agli studi di caso pertinenti. Attraverso questa revisione, intendevamo chiarire il ruolo e l'attenzione accademica dedicata ai codici dei rifiuti nell'industria dei veicoli di valore (ELV). La revisione sistematica è stata condotta in conformità con le linee guida PRISMA. (Vedi **Figura 20**)

Lo studio ha effettuato una ricerca per parole chiave su titoli di articoli, abstract e parole chiave nel seguente ordine: ("studio di caso") E ("waste" O "list of waste" O "European waste catalogue" O "EWC") e (End-of-life vehicle" O "ELV"). La metodologia include revisioni e articoli. Pubblicato in inglese tra gennaio 2000 e gennaio 2025. L'attenzione è sull'identificazione di casi di studio globali per verificare **se esista un elenco simile di pratiche nel codice dei rifiuti in tutto il settore**. La ricerca iniziale ha prodotto 62 articoli su Scopus e 250 su Science Direct per rilevanza. Dopo aver esaminato tutti i titoli degli articoli, ne abbiamo considerati solo 81 per la lettura degli abstract. Dopo aver letto l'abstract, abbiamo selezionato 58 articoli per l'analisi integrale. I criteri di inclusione per questa analisi si sono concentrati sulla rilevanza dello studio di caso, con alcuni articoli che incorporano diagrammi a supporto dei loro risultati. Per quanto riguarda le esclusioni, abbiamo rimosso alcuni articoli dello stesso autore quando la loro base modello era simile agli studi. Tuttavia, non includiamo più articoli dello stesso autore se presentano la stessa prospettiva, per garantire un'analisi completa.

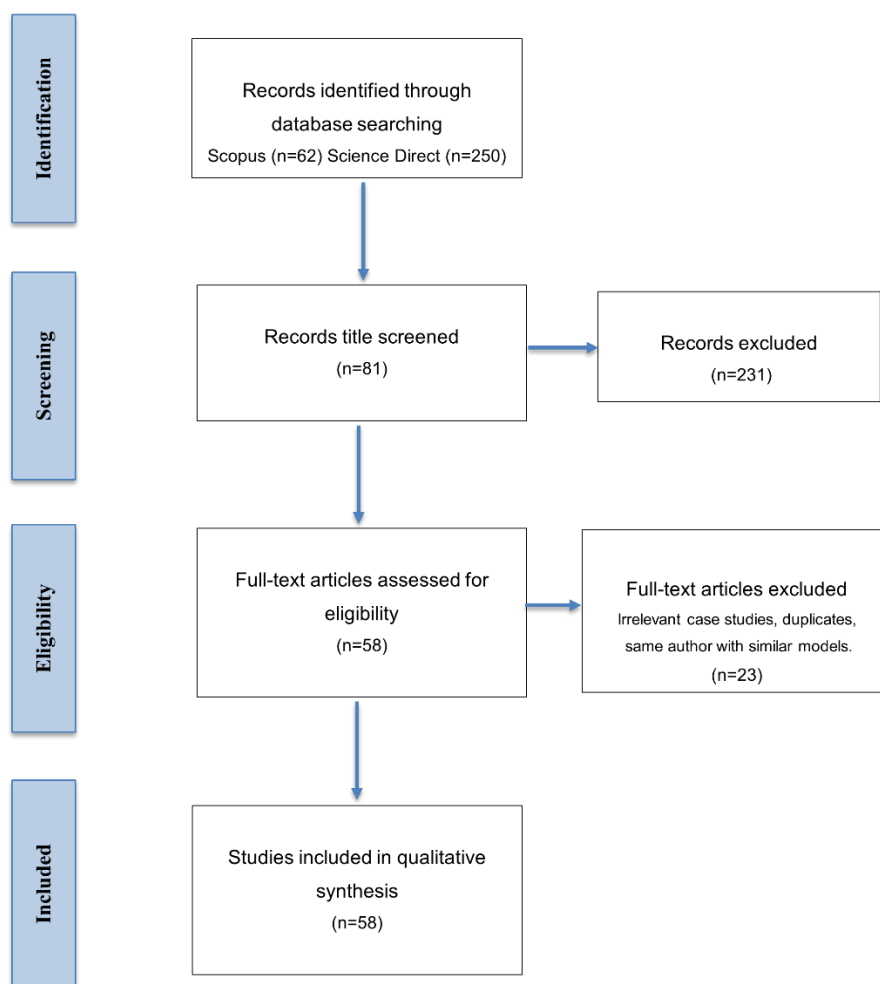


Figura 20. Modello PRISMA per la revisione sistematica della letteratura.

4.1.1 Categorizzazione degli articoli per ambito di ricerca

La nostra analisi si basa su 58 articoli accademici, sistematicamente categorizzati in **Tabella** in base al loro ambito territoriale, alle categorie analitiche e all'argomento di studio. Questa classificazione mira a chiarire la diversità e la profondità delle prospettive di ricerca adottate nella letteratura ELV. In particolare, le categorie definite includono: **i) Identificazione:** Articoli che si concentrano su metriche di performance e sfide emergenti; **ii) Gestione:** Articoli relativi a strategie generali e analisi operative; **iii) Ottimizzazione:** Articoli focalizzati sullo sviluppo di modelli e strategie di allocazione delle risorse; **iv) Politica:** Articoli che trattano i quadri normativi e gli aspetti di politica comparata; **v) RRR:** Articoli che enfatizzano il recupero di materiali dagli ELV per la riproduzione, il riutilizzo o il riciclaggio. Questa categorizzazione mette in evidenza le varie dimensioni degli approcci accademici. Inizialmente possiamo osservare l'intenzione di migliorare, ma viene applicata piuttosto nell'industria.

Tabella 16. Categorizzazione articoli: Casi di studio rilevanti nel settore ELV.

Categoria	Autori	Territorio	Argomento di studio
Identificazione	(Anh et al., 2020)	Vietnam	Potenziati fonti di specifici inquinanti organici raccolte dal trattamento improprio di veicoli in fine vita e altri materiali correlati al veicolo.
	(Despeisse et al., 2015)	Regno Unito	Raccomandazione per migliorare la strategia dei tassi 3R nello smantellamento dell'ELV.
	(Favarin et al., 2023)	Internazionale	Ricostruire e analizzare possibili rotte esistenti per il traffico illegale di ELV e rifiuti elettronici.
	(Gassner et al., 2021)	Vienna	Previsione dei flussi di materiali per il settore urbano fino al 2050 - flussi di output dei veicoli in fine vita dei diversi scenari.
	(Hu & Wen, 2015)	Cina	Riconosciamo il trattamento illegale con l'ELV in Cina.
	(Inghels et al., 2016)	Belgio	Parametri che influenzano la quantità di composizione dei rifiuti ELV per un modello dinamico di sistema
	(Liu et al., 2022)	Giappone	Effetti del riciclo dell'LCA
	(Modoi & Mihai, 2022)	Romania	Iniziative di Economia Circolare.
	(Matos et al., 2023)	Portogallo	Applicazione dei micro-indicatori di circolarità alla plastica
	(Parchomenko et al., 2021)	UE	Identificare l'Efficacia delle Risorse e i cambiamenti necessari nei sistemi legati alla transizione ai veicoli elettrici
	(Petrauskienė et al., 2022)	Lituania	Benefici economici dei componenti per il riutilizzo ELV
	(Pidikiti et al., 2023)	UE	Indicatori chiave di performance (KPI) per la valutazione delle prestazioni dell'economia circolare (CE) (utilizzati in un modello basato su ontologie)
	(Sato et al., 2018)	Giappone	Vantaggi dei pezzi di riutilizzo del veicolo.
	(Skeete et al., 2020)	Regno Unito	Previsione dei rifiuti di BEV (batterie agli ioni di litio (LIBs)) entro il 2025 nel Regno Unito.
	(so et al., 2018)	Australia	Archetipi di comportamento nel sistema di riciclaggio dei veicoli.
	(Steward et al., 2019)	Internazionale	Metodi di riciclo futuri per le batterie agli ioni di litio.
	(Tarrar et al., 2021)	Svezia	Sfide pratiche nell'industria dell'ELV.
Gestione	(Ahmed et al., 2016)	Malaysia	Proporre un approccio decisionale multicriterio come strumento efficace per criteri sostenibili e valutazioni alternative.
	(Ali et al., 2024)	Egitto	Apertura di un metodo ARAS N-type-2 proposto da Facility sono illustrati nel contesto di uno studio di caso in Egitto. Questo metodo consiste nella scelta di una sede di riciclo ELV.
	(Bachér et al., 2018)	Finlandia	Metodi decisionali multicriterio per creare apprendimento congiunto e miglioramento delle idee tra gli stakeholder.
	(Bobbà et al., 2023)	UE	Propongono un nuovo indicatore di Tasso di Input Circolare (CIR).
	(Ehm, 2024)	Internazionale	Una formulazione matematica per la pianificazione e la pianificazione completa dello smontaggio per più prodotti EOL.
	(Hasibul et al., 2018)	Svezia	Tecniche di Lean Management per migliorare le aziende di smontaggio auto.
	(Keeken et al., 2024)	UE	Effetto Catena di Approvvigionamento Alluminio.
	(Kudelska et al., 2017)	Polonia	Supporto allo storage con un sistema IT sviluppato.

	(Kuznetsova et al., 2021)	Russia	Quadro di classificazione per tutti i tipi di veicoli
	(Mayers, 2007)	UE	Implicazioni della responsabilità estesa del produttore
	(Muñoz et al., 2006)	Spagna	LCA in un pannello porta in poliolefina (plastica).
	(Ortego et al., 2018)	UE	Valutazione termodinamica nel downcycling.
	(Özceylan et al., 2017)	Turchia	Anello di chiusura per il trattamento automobilistico
	(Raja Mamat et al., 2018)	Malaysia	Strumento di valutazione delle prestazioni.
	(so et al., 2016)	Australia	LCA nei materiali delle porte dell'auto.
	(Sakkas & Me, 2003)	Grecia	Strategie di investimento nel settore.
	(Trang & Li, 2023)	Internazionale	Analisi inversa della catena di approvvigionamento.
Ottimizzazione	(Anthony & Cheung, 2017)	Regno Unito	Modello di previsione dei costi tramite rimanifattura, ricondizionamento e riciclo.
	(Bruyère et al., 2016)	Internazionale	Fresatura criogenica (progresso tecnico della plastica).
	(Gołębiewski et al., 2013)	Polonia	Modello di localizzazione per l'ATF di ELV: Organizzando un sistema adeguato di smaltimento dei rifiuti.
	(Halabi et al., 2015)	Australia	Macchina multi-smontaggio.
	(Jordão et al., 2016)	Portogallo	Migliorare la metodologia per separare rame leggero e pesante e alluminio.
	(Jung et al., 2021)	Corea	Trasformare i rifiuti in prodotti a valore aggiunto con pirolisi catalitica assistita da CO2. (Plastica)
	(Kuşakcı et al., 2019)	Istanbul	Logistica Inversa dei Modelli
	(J. Li et al., 2018)	Internazionale	Smontaggio robotico.
	(Mahmoudzadeh et al., 2013)	Iran	Logistica Inversa dei Modelli
	(Simic et al., 2021)	Serbia	Come determinare la posizione migliore per un impianto di triturazione.
	(Urain et al., 2022)	Spagna	Strumenti di sviluppo e validazione basati in 30 aziende.
	(Yan et al., 2024)	Cina	Modello di instradamento di località: consapevole del costo e della penalità di carbonio.
Politica	(Baldassarre, 2025)	UE	Un quadro di riferimento basato su uno studio di caso sul metallo in titanio porta a tre raccomandazioni di politica industriale che possono essere applicate in altre catene di approvvigionamento per altri tipi di materiali.
	(Halkos & Aslanidis, 2024)	UE	Svelare le politiche costruendo un quadro per una gestione sostenibile dei rifiuti.
	(Mazzanti & Zoboli, 2006)	UE	Le politiche dell'UE inducono strumenti economici e di innovazione.
	(Sakai et al., 2014)	Internazionale	Studio comparativo dei sistemi di riciclo ELV.
	(Singh et al., 2017)	Giappone ed UE	Confronto dei brevetti prima e dopo l'introduzione delle politiche nell'ELV.
	(so et al., 2017)	Australia	I requisiti legali migliorano i tassi di riciclaggio.
	(Abdullah, 2024)	Internazionale	Rigenerazione di lastre d'acciaio ELV per adattare allo spessore e produrre scatole elettriche a parete.

RRR	(Abdullah, 2021)	Internazionale	Rigenerazione di lamiera d'acciaio.
	(Abeykoon et al., 2021)	Regno Unito	Polimeri - testò tre diversi tipi di lavorazione polimerica e concluse che i materiali riciclati dipendono da parametri differenti, rendendo impossibile la previsione. Le impostazioni dei parametri per ogni processo devono essere selezionate.
	(Bachér et al., 2025)	Finlandia	Studio sul riciclo dei metalli utilizzando test pilota di gassificazione tramite alimentazione ELV e WEEE.
	(Copani et al., 2022)	Internazionale	Rimodellamento basato su uno studio di caso in metallo.
	(Guo et al., 2022)	Cina	Riciclaggio e ricostruzione dei paraurti in plastica.

4.2 Analisi finale

Questo studio sottolinea l'importanza critica del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC), istituito dalla Decisione 2000/532/CE della Commissione Europea, in particolare per le pratiche di smantellamento automobilistico. La revisione sistematica della letteratura indaga fino a che punto la letteratura accademica fa riferimento esplicitamente ai codici dei rifiuti negli studi di caso sui veicoli di fine vita (ELV), sia in Europa che a livello internazionale. La nostra analisi ha rivelato una carenza sostanziale nelle pubblicazioni accademiche che menzionano esplicitamente i codici dei rifiuti.

Il Capitolo evidenzia l'integrazione esplicita limitata dei sistemi di codifica dei rifiuti, il trattamento frammentato dei processi di smantellamento e la **predominanza dell'ottimizzazione economica o logistica rispetto all'accountability standardizzata a livello di processo**. Questi risultati forniscono la base empirica per l'identificazione delle lacune affrontate nei capitoli successivi, in particolare lo sviluppo del **Modello LAMPONE** e la valutazione della preparazione alla standardizzazione negli Impianti di Trattamento Autorizzati europei.

Durante la revisione si ha identificato solo **tre menzioni esplicite dei codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC)** nella letteratura. La maggior parte degli studi (43 articoli) **si è riferita prevalentemente alla Direttiva ELV 2000/53/CE**, affrontando aspetti strategici e operativi come logistica inversa, ottimizzazione della rete, minimizzazione dei costi, previsione del flusso, processo decisionale e valutazione delle prestazioni. La conformità ai codici normativi, inclusi gli EWC, appare spesso implicitamente all'interno di quadri giuridici più ampi,

L'analisi inizia con (Sakai et al., 2014) chi ha esaminato i quadri legislativi internazionali per il riciclo dell'ELV. Lo studio conferma che sistemi strutturati di riciclo dell'ELV esistono nell'UE, in Giappone, Corea e Cina, mentre negli Stati Uniti mancano di regolamentazioni

unificate. Gli autori hanno utilizzato diagrammi di flusso per confrontare i processi di riciclo dell'UE e del Giappone, sottolineando i residui di triturazione automobilistica (ASR) come una sfida persistente.

Tuttavia, la standardizzazione rimane un collo di bottiglia per l'economia circolare. La cooperazione e lo scambio di conoscenze tra gli stakeholder del settore sono fondamentali per affrontare le incongruenze (Bachér et al., 2018). Un esempio è l'ambiguità nella terminologia. Alcune fonti definiscono il pretrattamento come lo smantellamento e il disinquinamento come la decarbonizzazione (Modoi & Mihai, 2022), (Baldassarre, 2025), (Hasibul et al., 2018). Questi evidenziano priorità in evoluzione all'interno dei quadri normativi.

Inoltre, la Direttiva 2000/53/CE non fa esplicito riferimento alla rimanifattura, associandola ai processi di riutilizzo, riciclo e recupero. L'interesse accademico per la rimanifattura è cresciuto significativamente. Ad esempio, è stato dimostrato che la rimanifattura può ridurre le emissioni di CO₂ di circa 3.800 kg per ELV e generare circa 775 dollari per veicolo rispetto al riciclo convenzionale (Abdullah, 2021).

Tipicamente, gli smontatori rivendono pezzi di ricambio senza ulteriori lavorazioni, mentre la rimanifattura prevede un riutilizzo strutturato tramite procedure standardizzate, garanzie e assicurazione della qualità. Questo studio propone un esame critico sul fatto che l'industria ELV richieda politiche o strutture dedicate alla riproduzione all'interno di nuovi quadri normativi per ottimizzare i benefici dell'economia circolare.

Inoltre, l'aumento dell'accettazione dell'ELV garantisce un flusso costante di veicoli nei sistemi di riciclo, migliorando sia i benefici ambientali che economici (Yan et al., 2024).

Uno studio di caso condotto a Istanbul ha sviluppato un modello matematico per affrontare le incertezze nella fornitura di ELV, utilizzando tecniche di modellazione fuzzy per progettare reti logistiche efficienti. Questo approccio riduce gli impatti ambientali e ottimizza la raccolta, lo smantellamento e il riciclo (Kuşakcı et al., 2019). Analogamente, uno studio di caso dall'Iran ha sviluppato un modello ottimale di logistica inversa, concentrandosi sulla collocazione strategica dei depositi di rottami e sull'allocazione efficiente degli ELV (Mahmoudzadeh et al., 2013).

Inoltre, uno studio comparativo indica che specifici componenti ELV continuano a essere gestiti in base alla fattibilità economica piuttosto che rispettare rigorosamente i requisiti legislativi (Bobbà et al., 2023). Storicamente, gli incentivi economici hanno influenzato le pratiche di riciclo del VUF in modo più significativo rispetto alle considerazioni ambientali. Ad esempio, il tasso di riciclaggio in Europa ha raggiunto il 75% in massa nel 1994, principalmente grazie ai benefici finanziari (Singh et al., 2017).

Aumentare la disponibilità di plastiche ELV limitando le esportazioni e riducendo i cicli di investimento potrebbe migliorare gli sforzi di recupero dei materiali (Inghels et al., 2016). I progetti di veicoli multimateriale complicano il riciclo, sfidando l'estrazione di materiali ad alta purezza e riducendo la dipendenza dalle risorse vergini (so et al., 2016). Uno studio di caso che analizza i sottosistemi dei veicoli riciclati conferma la tendenza al degrado dei materiali durante il riciclo, dove i materiali di alto valore spesso perdono la loro qualità originale (Ortego et al., 2018). L'industria siderurgica deve anche riconoscere che la transizione di nuove materie prime verso i veicoli di nuova generazione porterà cambiamenti significativi. Pertanto, la qualità dell'acciaio ELV riciclato deve diventare competitiva sul mercato (Sakkas & Me, 2003).

Il riciclo delle batterie agli ioni di litio affronta sfide dovute all'evoluzione delle composizioni chimiche (da grafite a silicio, da cobalto a nichel), creando incertezze sui metodi ottimali di riciclaggio (Steward et al., 2019). Inoltre, le normative ambientali per le nuove batterie di fine vita rimangono poco sviluppate in molti paesi. I piccoli smontatori, privi di formazione o tecnologia, potrebbero avere difficoltà a competere con le aziende più grandi e rischiare di diventare semplici centri di raccolta.

Nonostante i progressi, il settore del riciclo ELV si trova ad affrontare incongruenze normative e limitazioni tecnologiche. L'implementazione di metodi standardizzati potrebbe migliorare l'efficienza nel recupero dei rifiuti ELV. Attualmente, alcuni paesi si affidano ad approcci guidati dal mercato a causa della mancanza di una legislazione dedicata ai VFU, che crea lacune di performance visibili e sottili a livello internazionale. Ad esempio, uno studio comparativo tra Belgio e Australia ha indicato che l'UE ottiene risultati ambientali quasi 7,9 volte superiori grazie ai quadri legislativi (so et al., 2017).

Sebbene l'industria ELV sia leader nelle pratiche di economia circolare, una ricerca che coinvolge 30 aziende industriali di vari settori in Spagna ha evidenziato la gestione ELV come particolarmente efficace, con una conformità del 70% nei processi operativi secondo i criteri dell'Economia Circolare (Urain et al., 2022).

I quadri di responsabilità del produttore hanno influenzato tassi di riciclo più elevati e pratiche di gestione ELV più strutturate. La legislazione europea impone ai produttori automobilistici di istituire sistemi in cui gli ATF recuperano i costi di riciclo attraverso programmi finanziati dai produttori (Mayers, 2007).

Un articolo su **I codici dei rifiuti sottolineano che, quando i codici non sono disponibili, devono essere assegnati sulla base delle descrizioni dei materiali per classificare accuratamente le categorie di rifiuti.** L'applicazione corretta dei codici sui rifiuti è essenziale per prevenire il commercio illegale e offre significativi benefici normativi e logistici (Favarin

et al., 2023). Questo risultato supporta la nostra ricerca tramite **dimostrando che una corretta assegnazione del codice dei rifiuti previene il commercio illegale di rifiuti e garantisce una gestione efficace dei materiali.**

Inoltre, codici standardizzati dei rifiuti potrebbero affrontare le più ampie disparità intersettoriali nella gestione dei rifiuti. Gli studi raccomandano di integrare indicatori chiave di performance (KPI) e modelli di dati basati su ontologie per migliorare il processo decisionale, facilitare la comunicazione e favorire la collaborazione tra l'interno del settore (Pidikiti et al., 2023).

L'automazione nel riciclo degli ELV rimane una sfida. Il rilevamento basato su sensori è promettente ma non commercialmente sostenibile (J. Li et al., 2018). Un riciclo efficace richiede anche l'allineamento degli stakeholder e incentivi per gli utenti. Nonostante i progressi dalla Direttiva UE sui PV, **Persistono lacune di efficienza. Richiede standardizzazione, investimenti nell'automazione e metodi avanzati di riciclaggio.**

Capitolo 5 Studio di caso: Metodologia, sviluppo e applicazione del Modello Lampone

L'analisi di numerose pubblicazioni accademiche indica una significativa lacuna nell'applicazione accademica del codice dei rifiuti. Nonostante il loro ampio uso nell'industria per la conformità normativa, i codici EWC sono raramente citati nella letteratura accademica. Inoltre, come discusso nel Capitolo 2, il Regolamento rivisto sui Veicoli di Fine Vita (ELV) introduce nuovi requisiti per il riutilizzo, il riciclo e il recupero, incluso il requisito che **almeno il 30% del contenuto totale di plastica di ciascun veicolo in fine vita**, in peso, debba provenire da materiali riciclati. In questo contesto, **il principale valore strategico del modello LAMPONE** risiede nella sua capacità di fornire una tracciabilità certificata. Ogni componente, materiale e flusso di rifiuti è identificato in modo unico tramite l'integrazione dei codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC), pesati accuratamente e collegati a una specifica fase di trattamento, creando così un registro trasparente, verificabile e verificabile dell'intero ciclo di vita dell'ELV.

Questa capacità posiziona il modello LAMPONE come un facilitatore strategico per **trasformare gli Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF) in hub dati certificati.** Generando informazioni affidabili e verificabili sui flussi dei materiali e sui risultati del trattamento, come dimostrato nella Sezione 5.7, Valutazione delle Prestazioni di Riutilizzo e Riciclo. Il modello fornisce prove quantitative a supporto della conformità al Regolamento ELV rivisto. Inoltre, la tracciabilità e l'integrità dei dati risultanti consentono agli ATF di

giustificare le richieste di rimborso dei costi netti nell'ambito del quadro Extended Producer Responsibility (EPR), migliorando al contempo la trasparenza, la conformità normativa e la fiducia degli stakeholder in tutta la catena del valore ELV.

5.1 Metodologia di progettazione dello studio di caso

Per affrontare RQ1, è stato condotto uno studio di caso approfondito presso Pomili Demolizioni Speciali S.R.L., una struttura di trattamento autorizzata situata in Italia. L'approccio di case study è stato scelto per la sua idoneità nell'indagine di processi complessi in contesti reali.

5.1.1 Research setting: Pomili Demolizioni Speciali SRL

Pomili Demolizioni Speciali SRL opera in Italia e ha due sedi: Monterotondo e Rieti nella regione di Roma. Dal 1982 si specializzano nella gestione dei veicoli in fine vita, demolizioni industriali e rimozione dell'amianto, con particolare attenzione a pratiche ecologiche nel settore del riciclo. L'azienda impiega circa 50 persone e ha un fatturato dichiarato di circa 5 milioni di euro. Inoltre, l'azienda è certificata ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, SA 8000, UNI/PDR 125 gender gap e AVEI® (certificazione di eccellenza nella gestione dei veicoli elettrificati in demolizione)

La struttura è stata scelta in base alla sua scala operativa, alla disponibilità a fornire accesso ai processi e ai dati interni e alla rappresentatività delle pratiche italiane di smantellamento.

5.1.2 Veicolo di fine vita

Il veicolo di fine vita (ELV) selezionato per questo studio è il FIAT 600, una scelta che, pur non essendo intrinsecamente significativa nel contesto del rifiuto 16 01 04*, rappresenta un emblema di rilievo dell'automobile italiana. La scelta di una FIAT 600 è puramente simbolica e per un'analisi approfondita.

5.1.3 Procedure di raccolta dati

I dati sono stati raccolti tramite osservazioni in loco dei processi di smantellamento; interviste semi-strutturate con il personale di direzione e tecnico; l'analisi si basa sulle operazioni quotidiane e misurazione diretta dei flussi di materiale.

5.1.4 Metodologia dell'Analisi del Flusso di Materiali (MFA)

L'Analisi del Flusso dei Materiali (MFA) è stata applicata per quantificare gli input e le uscite di materiali associati al processo di smantellamento. La MFA è una valutazione sistematica dei

flussi e delle scorte di materiali all'interno di un sistema definito, basata sul principio della conservazione della massa (Brunner, 2015).

L'MFA è stato condotto a **livello di struttura**, adottando un **confine di sistema gate-to-gate**. Il sistema **inizia** con l'ingresso dell'ELV all'ATF e **termina** quando tutti gli output escono dall'impianto e vengono consegnati agli operatori a valle. Le attività oltre l'ATF, come la triturazione, la raffinazione dei materiali o lo smaltimento finale, non sono incluse nei confini fisici del sistema ma sono considerate analiticamente attraverso la **classificazione dei trattamenti a valle**.

I dati sono stati raccolti da un singolo ELV. Ha rimosso componenti, materiali pericolosi e residui di scarto.

L'Analisi del Flusso dei Materiali applicata in questo studio è un **metodo di contabilità descrittiva** basato sul principio della conservazione della massa. Il MFA mira a **quantificare gli input e output dei materiali**, verificare il bilancio di massa a livello di impianto e valutare le prestazioni di smantellamento rispetto ai parametri normativi stabiliti dal nuovo Regolamento ELV. *(Riutilizzo e recupero: 95%; riutilizzo e riciclaggio: 85% (escluse batterie). Almeno il 30% delle plastiche del veicolo per peso totale*

5.1.5 Mappatura del codice dei rifiuti: Framework del modello Lampone

Parallelamente alla MFA, sono stati assegnati codici di scarto a ogni flusso di output basandosi sul Catalogo Europeo dei Rifiuti. Questo esercizio di mappatura ha permesso l'allineamento dei flussi di materiali fisici ai requisiti di classificazione normativa. L'integrazione di MFA e codifica dei rifiuti costituì la base per lo sviluppo del Modello LAMPONE. Questa analisi identificò la distinzione tra rifiuti e componenti riutilizzabili.

5.2 Costruzione del modello Lampone

Per supportare lo sviluppo sistematico del Modello LAMPONE, è stato istituito utilizzando un quadro di mappatura regolatoria che chiarisce gli obblighi operativi e amministrativi previsti dalla Direttiva 2000/53/CE. I pilastri tematici identificati negli articoli 4-9 fungono da spina dorsale concettuale di questo quadro, garantendo che il modello sia fondato sull'architettura giuridica della Direttiva. (Art. 4 Prevenzione, Art. 5 Raccolta, Art. 6 Trattamento, Art. 7 Riutilizzo e recupero, Art. 8 Standard di codifica e smantellamento delle informazioni, Art. Rendicontazione e informazioni)

5.2.1 Struttura

Dopo aver identificato il processo standard chiave definito negli articoli 4-9 della Direttiva 2000/53/CE, la procedura segue il percorso preliminare di smantellamento del VF e integra i relativi Codici Europei dei Rifiuti (CEE). **Tabella 17** presenta il principale codice EWC comunemente utilizzato nello smantellamento dei VF, identificato ai sensi della Decisione 2000/532/CE della Commissione Europea e allineato alle pratiche operative dell'azienda.

Tabella 17. Catalogo Europeo dei Rifiuti: codici per lo smantellamento dei veicoli in fine vita (ELV).

Fase	EWC	Descrizione dell'EWC
Input	16 01 04*	Veicoli di fine vita
	16 01 06	Veicoli in fine vita che non contengono né liquidi né altri componenti pericolosi
Depollution	13 02 08*	Altri oli lubrificanti per motore, ingranaggi e lubrificanti
	13 07 01*	Olio combustibile e diesel
	13 07 02*	Benzina
	13 07 03*	Altri combustibili (inclusi i mix)
	14 06 01*	Clorofluorocarburi, HCFC (Idroclorofluorocarburi), HFC (Idrofluorocarburi)
	16 01 07*	Filtri dell'olio
	16 01 08*	Componenti contenenti mercurio (ad esempio, display fluorescenti a vuoto (VFD) nelle vecchie auto)
	16 01 09*	Componenti contenenti PCB (bifenili policlorurati)
	16 01 10*	Componenti esplosivi (ad esempio, airbag)
	16 01 11*	Pastiglie dei freni contenenti amianto
	16 01 13*	Liquidi freni
	16 01 14*	I fluidi antigelo contengono sostanze pericolose
	16 01 21*	Componenti pericolosi diversi da quelli menzionati in 16 01 07 a 16 01 11 e 16 01 13 e 16 01 14
	16 06 01*	Batterie al piombo
	16 06 02*	Batterie Ni-Cd
	16 06 03*	Batterie contenenti mercurio
Smantellamento	15 02 03	Assorbenti, materiali filtranti, vestiti per la pulizia e indumenti protettivi diversi da quelli menzionati in 15 02 02
	16 01 03	Gomme di fine vita
	16 01 06	Veicoli in fine vita che non contengono né liquidi né altri componenti pericolosi
	16 01 12	Pastiglie dei freni diverse da quelle menzionate in 16 01 11
	16 01 15	Fluidi antigelo diversi da quelli menzionati in 16 01 14
	16 01 16	Serbatoi per gas liquefatto
	16 01 17	Metallo ferroso
	16 01 18	Metallo non ferroso
	16 01 19	Plastica
	16 01 20	Vetro
	16 01 22	Componenti non altrimenti specificati
	16 06 04	Batterie alcaline (eccetto 16 06 03)
	16 06 05	Altre batterie e accumulatori
	16 08 01	Catalizzatori esauriti contenenti oro, argento, renio, rodio, palladio, iridio o platino (eccetto 16 08 07)
	19 12 12	Altri rifiuti (inclusi miscele di materiali) derivanti dal trattamento meccanico di rifiuti diversi da quelli menzionati in 19, 12, 11

Si prega di notare che il codice dei rifiuti **16 01 06** appare in Due fasi distinte: input e smontaggio. Questo codice si applica agli ELV che arrivano completamente svuotati di liquidi pericolosi nella fase di input. Durante la fase di smantellamento, l'ELV può apparire come un veicolo completo o un quadrato compattato; in entrambi gli scenari, sono classificati secondo il codice dei rifiuti 16 01 06 (Vedi **Figura 22**). Inoltre, quando gli utenti finali all'interno dei ELV lasciano beni personali residui, questi vengono classificati secondo il codice dei rifiuti 19 12 12.

5.2.2 Funzionalità

Il modello Lampone è l'applicazione e l'integrazione dei codici di rifiuti in contesti industriali, in particolare nella gestione dei veicoli in fine vita. (Vedi **Figura 21**). Questo modello quantifica sistematicamente tutti i componenti ELV classificati come rifiuti. Il Modello Lampone può quantificare i rifiuti generati **tramite un singolo o vari ELV in input**, indipendentemente dal marchio automobilistico. In questo contesto, il parametro di input corrisponde al peso totale dell'ELV ricevuto. L'output viene categorizzato e quantificato tramite una procedura analitica. Il modello fornisce informazioni dettagliate per identificare accuratamente i rifiuti pericolosi e supporta l'implementazione pratica dei codici dei rifiuti.

Si prega di notare che **la produzione di materie prime secondarie è generalmente gestita da aziende esterne specializzate e non è responsabilità diretta delle aziende di smantellamento**. Il ruolo principale di queste aziende è **identificare, classificare e selezionare i materiali di scarto** per la vendita successiva. Anche se alcuni smantellatori possono avere infrastrutture per la lavorazione interna dei rifiuti e il riciclo.

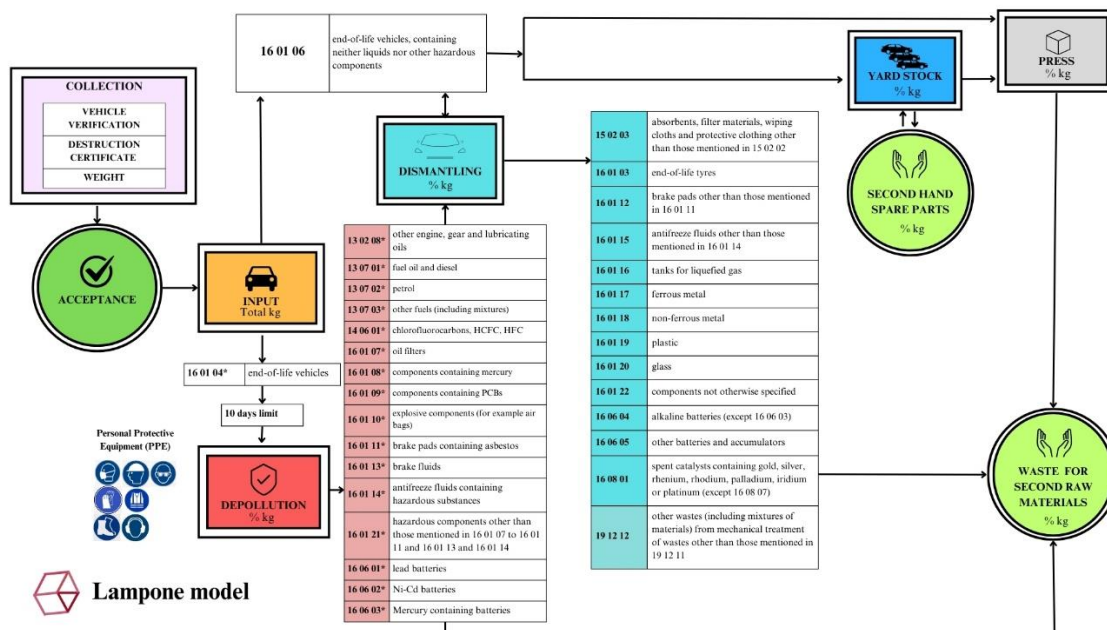


Figura 21. Quadro Modello Lampone 2025.

Nota importante: durante la fase di input, si possono osservare due uscite. La prima e più comune è la 16 01 04*, che significa veicoli in fine vita con tutti gli inquinanti. Ciò significa che l'ELV deve essere decontaminato. Per il secondo tipo di input, 16 01 06, l'ELV non deve essere decontaminato perché è già stato processato prima di entrare nel sito. Questo accade perché alcuni ATF possono eseguire l'intero processo, mentre altri possono solo effettuare la depurazione.

5.3 Risultati dello studio di caso

Questo capitolo presenta i risultati empirici dello studio di caso condotto presso *Pomili Demolizioni Speciali S.R.L.*, un ATF operante in Italia. Applicando il quadro metodologico descritto nella 5.1, il caso di studio effettivo applica un'analisi del flusso di materiali utilizzando il Lampone Model Framework per costruire un diagramma dei rifiuti basato su uno specifico ELV. Questa rappresentazione visiva mira ad approfondire la comprensione del processo di gestione dei rifiuti e a distinguere chiaramente quali rifiuti sono destinati al riciclo e quali al riutilizzo come pezzi di ricambio.

Il caso di studio si concentra sullo smantellamento di **una Fiat 600**, selezionata come veicolo compatto rappresentativo comunemente lavorato dagli ATF italiani. L'analisi quantifica gli input e i prodotti materiali, assegna i codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC) ai flussi di rifiuti e valuta le prestazioni rispetto agli obiettivi di riutilizzo, riciclo e recupero stabiliti dalla Direttiva 2000/53/CE.

5.4. Analisi del flusso di materiali

L'ELV analizzato è una **Fiat 600**, con una massa totale in presa di **aria di 660 kg**. L'ELV è **stato accettato senza sedili**. Il veicolo rappresenta una tipica piccola carrozza passeggeri all'interno della flotta di veicoli italiana, rendendolo adatto a illustrare le pratiche di smantellamento e la distribuzione dei materiali a livello ATF. Tutte le attività di smantellamento sono state svolte secondo le procedure operative standard dell'impianto, inclusi depurazione, smantellamento manuale, separazione dei componenti e preparazione della carrozzeria del veicolo decontaminata per il trasferimento agli operatori di trattamento a valle.

5.4.1 Input di materiale

Il materiale in ingresso del sistema corrisponde alla massa del VEL che entra nel processo di smontaggio: Massa totale in ingresso: 660 kg (Fiat 600)

5.4.2 Output dei materiali

Tutti i materiali in uscita sono stati identificati, quantificati e raggruppati in base alla fase di smantellamento e al tipo di output. L'analisi distingue tra flussi di scarto, a cui sono stati assegnati codici EWC, e componenti destinati al riutilizzo diretto, che sono stati trattati come prodotti e quindi non codificati come rifiuti. (Modello Lampone)

Durante **la fase di depurazione**, la **prima uscita** generava **un totale di 20 kg di materiali pericolosi**, inclusi olio motore, carburante, liquido refrigerante e batteria. Ogni output veniva classificato secondo il codice EWC appropriato per garantire la tracciabilità normativa dei materiali pericolosi.

Il secondo output delle operazioni di smantellamento **manuale generò 114 kg di rifiuti codificati, inclusi plastica, pneumatici, metalli, vetro, componenti dei freni e residui misti. Questi materiali furono separati per tipo e assegnati ai corrispondenti codici EWC in base alla composizione del materiale.**

Inoltre, **il terzo output fu lo smantellamento totale di 66 kg di componenti recuperati per il riutilizzo diretto**, inclusi paraurti, il motore, una ruota di scorta e componenti di illuminazione. Questi output furono trattati come **prodotti di seconda mano e quindi esclusi dalla classificazione dei rifiuti.**

I restanti 460 kg consistevano nella carrozzeria del veicolo decontaminata e nei componenti strutturali, classificati secondo EWC 16 01 06.

Tutti i prodotti classificati come rifiuti venivano trasferiti a un operatore specializzato a valle per la triturazione o il riciclo di materiali specifici. **Qualsiasi materiale senza codice**

dei rifiuti era considerato un pezzo di ricambio usato pronto per la vendita. In alcuni casi, alcune frazioni sono rimaste nel deposito a causa della domanda di mercato di pezzi di ricambio. Smantellare l'intera unità 16 01 06 non è economicamente sostenibile. Occasionalmente, solo i pezzi di ricambio più popolari vengono smontati, e può esserci un'attesa di almeno sei mesi prima che l'intera unità venga completamente smontata.



Figura 22. Codice Europeo dei Rifiuti a) 16 01 04* fase di input; b) 16 01 06 in fase di smantellamento.

5.5 Verifica del bilancio di massa

La somma di tutte le uscite è uguale alla massa totale in ingresso, confermando la chiusura completa del bilancio di massa:

$$660 \text{ kg (input)} = 20\text{kg} + 114\text{kg} + 66\text{kg} + 460 \text{ kg (outputs)}$$

Questo risultato convalida la coerenza interna del MFA e conferma l'applicabilità dei principi del bilancio massico ai processi di smantellamento a livello ATF.

5.6 Applicazione del modello Lampone

5.6.1 Matrice del modello Lampone

Il modello di Lampone non è un processo separato nell'analisi del flusso di materiali; piuttosto, è un processo di fusione che categorizza tutti gli output. Quanto segue **Tabella 18** riassume i risultati raccolti in ogni fase. Questa tabella elenca il numero di output, il tipo di output, il peso, la descrizione degli output, i codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC) e le loro descrizioni. Tutti gli output sono stati accuratamente documentati, archiviati correttamente e preparati per il trasferimento a aziende specializzate per ulteriori lavorazioni.

Questa **visualizzazione evidenzia l'importanza di introdurre codici sui rifiuti nel processo di smontaggio**, poiché non solo consentono la quantificazione ma identificano anche

i singoli flussi di rifiuti. La raccolta accurata dei dati è essenziale; può rappresentare il primo passo verso lo sviluppo di materiali ricondizionati a partire da questi codici dei rifiuti.

Tabella 18. Panoramica del processo di smantellamento della Fiat 600 utilizzando EWC.

Fase	N° Outputs	di Tipo di Output	Kg	Descrizione dell'output	Codice EWC	Descrizione EWC
Depurazione Totale 20 kg	1 ^a Produzione	Rifiuti per materie prime di seconda mano	3 kg	Olio motore	13 02 08*	Altri oli lubrificanti per motore, ingranaggi e lubrificanti
			~ 5kg	Carburante (Con 7 litri di benzina e considerando che la densità della benzina è di circa 0,7489 kg/L, il peso del carburante è di circa 5,24 kg.)	13 07 01*	Olio combustibile e diesel
			2kg	Liquido di raffreddamento e altri fluidi	16 01 14*	I liquidi contengono sostanze antigelo pericolose.
			10 kg	Batteria	16 06 01*	Batterie al piombo
Smantellamento Totale 114 kg	2 ^a Produzione	Rifiuti per materie prime di seconda mano	10 kg	Rivestimenti interni	16 01 19	Plastica
			15 kg	Finitura del cruscotto, tubi, serbatoio	16 01 19	Plastica
			40 kg	Quattro gomme in gomma	16 01 03	Gomme di fine vita
			3 kg	Pastiglie dei freni	16 01 12	Pastiglie dei freni diverse da quelle menzionate in 16 01 11.
			15 kg	Metallo ferroso	16 01 17	Metallo ferroso.
			18 kg	Blocchi motore, testate, pistoni, cerchi (leghe), pannelli della carrozzeria, cablaggio elettrico e radiatori.	16 01 18	Metallo non ferroso.
			10 kg	Parabrezza	16 01 20	Vetro.
			3 kg	Altri rifiuti derivanti dal trattamento meccanico	19 12 12	Altri rifiuti (inclusi miscele di materiali) derivanti dal trattamento meccanico di rifiuti diversi da quelli menzionati in 19, 12, 11.
Smantellamento Totale 66 kg	3 ^a Produzione	Ricambi di Seconda Mano	5 kg	2 Bumper	n/a	n/a
			50 kg	Motore	n/a	n/a
			10 kg	1 Ruota di scorta	n/a	n/a
			1 kg	2 Fanali posteriori	n/a	n/a
Pressatura Totale 460 kg	Produzione finale	Rifiuti per materie prime di seconda mano	460 kg	Telaio e telaio, pannelli della carrozzeria, componenti delle sospensioni, blocco motore, dischi e tamburi dei freni, assi e alberi di trasmissione, fissaggi (bulloni, dadi, viti)	16 01 06	Veicolo a fine vita utile, che non contiene né liquidi né altri componenti pericolosi

5.6.2 Visualizzazione del modello Lampone

Figura 23 di seguito è illustrato il processo di smantellamento della Fiat 600, mostrando l'analisi del flusso dei materiali e la categorizzazione dei singoli output dal Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC) in varie fasi. Come già accennato, lo smantellamento di tutti gli ELV può richiedere un tempo significativo dei dipendenti, con conseguenti spese. Non tutti gli ELV sono completamente smantellati. In alcuni casi, dopo la depurazione, la fase di smantellamento si concentra sulla rimozione dei pezzi di ricambio più richiesti per la rivendita o il riutilizzo. **Queste decisioni non si basano su dati scientifici** ma piuttosto sull'esperienza dei professionisti del settore che lavorano quotidianamente con questi veicoli. Una volta estratti i pezzi di ricambio più preziosi, i rifiuti rimanenti, classificati come 16 01 06, vengono conservati nel deposito durante un periodo di attesa nel caso in cui siano necessari ulteriori pezzi di ricambio in futuro. Non ci sono restrizioni legali sul mantenimento del 16 01 06 in materiale da giardino, ma secondo le nostre interviste, i proprietari solitamente lo conservano per circa 6 mesi, anche se possono avere spazio sufficiente per un anno o più. **Il modello è stato applicato a un singolo ELV per chiarezza, anche se il marchio stesso non è significativo, e può essere utilizzato per quantificare e classificare vari ELV.**

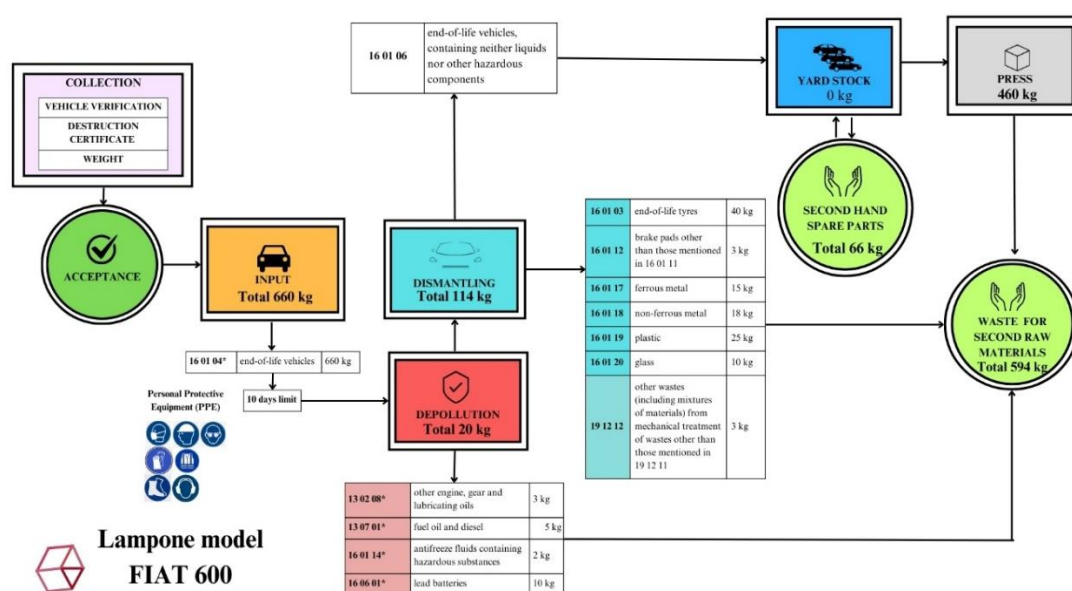


Figura 23. Applicazione Lampone Framework su un singolo ELV.

5.6.3 Residui di frantumazione automobilistica (ASR) e perdita di trattamento (TL)

I residui del trituratore automobilistico ((Automotive Shredder Residue, ASR) sono la frazione non metallica rimanente dopo la frantumazione di una carrozzeria inquinata, tipicamente composta da plastiche, schiume, tessuti, gomma, sporco e sostanze fine. La letteratura accademica riporta che **L'ASR rappresenta tipicamente circa il 20–25% della**

massa di un veicolo in fine vita dopo la triturazione e separazione dei metalli ferrosi e non ferrosi (Vermeulen et al., 2011) L'ASR costituisce il flusso di rifiuti più problematico per raggiungere gli obiettivi di recupero e riciclo stabiliti dalla Direttiva ELV. Perché ciò che non viene rimosso durante la depurazione (Depollution) o lo smantellamento finisce in residui di trituratore e riduce le prestazioni di riciclo.

In questo caso di studio, l'ASR non è stata quantificata direttamente perché le operazioni di triturazione avvengono al di fuori dei confini del sistema ATF quando l'ATF non effettua la triturazione.

D'altra parte, quando la carrozzeria del veicolo decontaminata classificata secondo EWC 16 01 06 viene compattata prima del trattamento a valle, **può verificarsi una piccola perdita di massa dovuta al distacco di piccoli componenti**, come fissaggi, viti, frammenti metallici o fine, durante la pressatura, la manipolazione e il trasporto.

Per questo studio, queste **perdite sono chiamate "perdite da trattamento"**(Treatment Loss, TL). Avvengono prima della triturazione e quindi non costituiscono residui di trituratore automobilistico (ASR). Poiché queste frazioni non erano direttamente misurabili all'interno del confine definito del sistema, è stata applicata un'incertezza conservativa nella manipolazione e nel processo dello 0,5% della massa del veicolo. Questo valore rappresenta perdite logistiche e meccaniche piuttosto che inefficienze nel recupero dei materiali.

Sebbene la contabilità basata su rotte a livello ATF possa suggerire tassi di recupero vicini al 100%, vincoli fisici e logistici insiti allo smantello dell'ELV e all'elaborazione a valle implicano che le prestazioni a livello di sistema debbano essere valutate rispetto a un limite superiore realistico. In linea con la Direttiva 2000/53/EC, che stabilisce un obiettivo massimo di riutilizzo e recupero del 95%, questo studio adotta il 95% come tetto di prestazione effettiva, riconoscendo perdite inevitabili nella gestione e residui post-trattamento oltre i confini del sistema ATF.

5.7 Valutazione delle prestazioni di riutilizzo e riciclo

"La Direttiva 2000/53/CE stabilisce obiettivi di prestazione che richiedono che almeno il 95% della massa di un ELV sia riutilizzato o recuperato e almeno l'85% sia riutilizzato o riciclato materialmente (escluse le batterie). Inoltre, il nuovo Regolamento ELV introduce un requisito che almeno il 30% delle plastiche dei veicoli in peso vengano riciclate."

Applicando questi indicatori di performance al caso di studio del Fiat 600, massa totale: **660 kg**, Un totale di **66 kg di componenti sono stati recuperati per il riutilizzo diretto (pezzi di ricambio)**, mentre **594 kg sono stati trasferiti ad operatori specializzati per il riciclo**. Poiché le fasi di lavorazione post-ATF possono generare residui variabili, è stato considerato un fattore di indeterminazione conservativo dello 0,5% della massa del veicolo (3,3 kg). Secondo questa assunzione conservativa, il tasso di riutilizzo e riciclo risultante è del 99,5% in massa.

Riguardo **plastiche, 25 kg** erano classificati sotto **EWC 16 01 19**. La soglia minima prevista dalla Direttiva per il riciclo delle materie plastiche **Il 30% corrisponde a 7,5 kg**, che viene soddisfatto a condizione che almeno questa quantità venga materialmente riciclata dall'operatore a valle. (Vedi **Tabella 19**)

La Direttiva ELV specifica che l'obiettivo dell'85% di riutilizzo e riciclo può essere calcolato escludendo le batterie, una disposizione introdotta principalmente per affrontare la complessità di massa e normativa delle batterie ad alta tensione nei veicoli elettrici e ibridi. Nel presente caso di studio, **il veicolo analizzato, il Fiat 600, è dotato di una batteria di avviamento convenzionale al piombo-acido (10 kg)**, che segue un percorso di riciclaggio a circuito chiuso ben consolidato. Data la sua massa limitata e l'elevata efficienza del riciclo, l'inclusione o l'esclusione della batteria non influisce in modo significativo sugli indicatori di prestazione calcolati. Per trasparenza, **la batteria è stata inclusa nell'analisi del flusso dei materiali e classificata come riciclo**, pur riconoscendo che la sua esclusione non altererebbe il rispetto degli obiettivi della Direttiva.

L'obiettivo di riutilizzo e recupero (95%) non viene valutato in questo caso di studio, poiché gli esiti di recupero energetico avvenuti oltre i confini del sistema ATF non sono stati quantificati direttamente. La valutazione, quindi, si concentra su indicatori di riutilizzo e riciclo dei materiali solidamente supportati dai dati empirici disponibili.

Tabella 19. Sommario della valutazione degli obiettivi della Direttiva ELV.

Indicatore	Target	Formula	Fiat 600 Output	Risultato	Conformità
Riutilizzo e riciclaggio (Escluse le batterie)	>85% della massa del veicolo	Ricambio a riutilizzo diretto + codici di rifiuto per il riciclo dei materiali (nessun recupero energetico)	Riutilizzo: 66kg Riciclaggio: 594 kg Incertezza: -3,3kg	≈ 99,5%	Sì
Riciclo della plastica	>30% delle plastiche in peso	Plastiche: 25 kg 30% richiesto: 7,5 kg	Identifica 16 01 19 plastiche: 25 kg	≥ 7,5 kg*	Sì
* La conformità all'obiettivo di riciclaggio delle plastiche è dimostrata a livello delle vie di trattamento a valle dichiarate; sarebbe necessaria la conferma delle rese effettive di riciclaggio per la verifica basata sugli esiti.					

5.8 Valore strategico del modello Lampone

Il valore strategico del modello LAMPONE risiede nella sua capacità di trasformare il trattamento ELV in un processo standardizzato e tracciabile basato sul Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC). Assegnando ogni flusso di materiale generato durante l'inquinamento, lo smantellamento, la preparazione per il riutilizzo e il riciclo al corrispondente codice EWC e registrandone la massa, il modello ottiene la completa accountability dell'ELV durante tutto il processo di trattamento.

Il principale asset strategico generato dal modello LAMPONE è **la tracciabilità** certificata. Ogni componente, materiale e flusso di rifiuti può essere identificato, pesato e collegato a una specifica fase di trattamento, creando un registro trasparente del ciclo di vita dell'ELV. Questa tracciabilità fornisce la base per diversi asset aggiuntivi, tra cui **la conformità normativa** dimostrando la conformità alla legislazione europea sui rifiuti; l'accountability di massa garantendo che tutta la massa dei veicoli in entrata sia assegnata a output documentati; e la revisione tramite la produzione di registri verificabili che possano supportare ispezioni e verifiche da parte di terzi.

Il modello genera **inoltre dati operativi di alta qualità** che supportano la rendicontazione della sostenibilità, la valutazione delle prestazioni ambientali e il processo decisionale informato all'interno degli Impianti di Trattamento Autorizzati (ATF). Inoltre, facilita **la gestione dell'inventario** di pezzi di ricambio riutilizzabili e materie prime secondarie, migliorando la valutazione commerciale dei prodotti recuperati e supportando i modelli di

business dell'economia circolare. Per gli stakeholder esterni, tra cui compagnie assicurative, produttori, riciclatori e autorità pubbliche, il modello fornisce prove affidabili dei risultati di recupero e trattamento dei materiali, aumentando la trasparenza lungo tutta la catena del valore dell'ELV.

Man mano che **l'industria automobilistica evolve verso veicoli elettrificati e reportistica digitale**, il modello LAMPONE fornisce un quadro scalabile in grado di accogliere diverse tecnologie veicolari senza alterarne la struttura. Di conseguenza, il suo valore strategico va oltre la gestione dei rifiuti, creando **asset informativi tracciabili** che supportano la conformità normativa, la reportistica sulla sostenibilità, la trasformazione digitale, l'efficienza operativa e la transizione verso un'industria automobilistica più trasparente e circolare.

Capitolo 6: Preparazione degli ATF italiani allo smantellamento dei veicoli elettrici e ibridi

La transizione verso veicoli elettrici e ibridi introduce nuove sfide tecniche, organizzative e normative per il settore dello smantellamento dei veicoli a fine vita (ELV). A differenza dei veicoli convenzionali a motore a combustione interna, i veicoli elettrici (EV) incorporano sistemi ad alta tensione, batterie al litio e componenti elettronici complessi che richiedono **attrezzature specializzate, procedure di sicurezza avanzate e formazione tecnica avanzata**. Di conseguenza, la preparazione degli ATF a gestire questi veicoli è diventata un fattore critico nell'efficace attuazione delle politiche europee di economia circolare.

6.1 Quota di mercato dei veicoli elettrici nell'Unione Europea, gestione delle batterie e standardizzazione digitale

Secondo i dati pubblicati dall'Associazione Europea dei Produttori di Automobilistici (ACEA), nel **primo semestre del 2026**, le immatricolazioni di **veicoli elettrici a batteria (BEV)** nell'UE hanno rappresentato il 20,7% del mercato totale, in aumento di quasi il 5,7% rispetto all'anno precedente. La crescita più significativa delle registrazioni di veicoli elettrici si è registrata **in Francia, Germania e Danimarca**. Il Belgio sta crescendo a un ritmo moderato.

Inoltre, le immatricolazioni per **veicoli ibridi-elettrici (HEV)** sono aumentate considerevolmente, rappresentando la **quota maggiore di tutte le fonti di energia con il 37,3%**. Questa crescita è principalmente **trainata da Italia, Spagna, Francia e Germania**.

Nel frattempo, **il mercato dei veicoli ibridi elettrici plug-in (PHEV)** in Europa rappresenta ora il 9,8%. Sebbene **la maggior parte della domanda provenga dall'Italia**, le matricole sono aumentate dell'84,3%. Seguite da Spagna e Germania.

Il segmento dei veicoli elettrici sta crescendo in tutte le varianti: **BEV, HEV, e PHEV**. Le registrazioni per le fonti di alimentazione per carburante e diesel stanno diminuendo. Ciò può essere attribuito all'incertezza nell'aumento del prezzo del diesel e della benzina per litro (Commissione Europea, 2026), a causa dell'incertezza geopolitica tra Iran e Stati Uniti.

È evidente che l'aumento dei veicoli elettrici che entrano nel mercato europeo aumenterà inevitabilmente il **volume delle batterie agli ioni di litio in fine vita che necessitano di trattamento nei prossimi decenni**. Di conseguenza, gli ATF dovranno adattare le loro operazioni per conformarsi sia al **proposto Regolamento sui Veicoli di Fine Vita (ELV)** sia ai requisiti stabiliti dal **Regolamento UE sulle Batterie**.

Gestione delle batterie è quindi emerso come una delle principali sfide operative che il settore dei veicoli a fine vita deve affrontare. Le prime ricerche hanno evidenziato che l'evoluzione **Chimiche delle batterie e composizioni dei materiali variabili** creò incertezza riguardo alle tecnologie di riciclo appropriate e ai percorsi di recupero dei materiali (Steward et al., 2019). Studi più recenti indicano che queste sfide si sono intensificate man mano che le tecnologie delle batterie continuano a diversificarsi. La crescente varietà di chimiche delle batterie, formati di celle, configurazioni dei moduli e architetture di pacchetti ha ridotto le opportunità di procedure di smantellamento standardizzate, aumentando al contempo la complessità, i costi e i requisiti di sicurezza associati alla diagnosi, allo smontaggio, al riutilizzo, alle applicazioni di seconda vita e al riciclo delle batterie (Bachler & Rettenmeier, 2026; W. Li et al., 2024).

Ricerche recenti dimostrano inoltre che le principali sfide non sono solo tecnologiche, ma anche **economico e organizzativo**. La fattibilità del riciclo delle batterie dipende dall'istituzione di sistemi logistici inversi efficienti in grado di raccogliere volumi sufficienti di batterie in fine vita da giustificare l'investimento significativo richiesto per strutture specializzate nel riciclo (Kronemeyer et al., 2026). Questa osservazione è coerente con le discussioni tenute durante un **Visita industriale condotta nell'ambito di questa ricerca di dottorato presso Btree Recycling Technologies (Suzhou, Cina)**, dove i rappresentanti dell'industria spiegavano che le tecnologie attuali di riciclo sono tecnicamente in grado di recuperare materiali per batterie; tuttavia, **La redditività dipende dall'elaborazione di volumi sufficientemente grandi di batterie**.

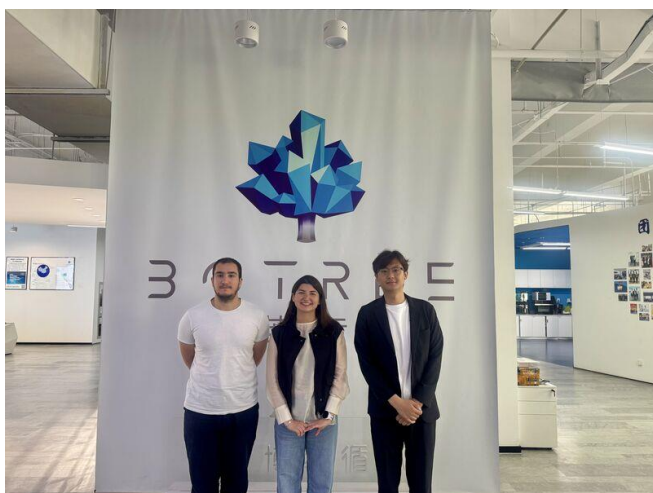


Figura 24. Visita di ricerca di dottorato in Cina: Botree Recycling Technologies sviluppa un processo di riciclo delle batterie all'avanguardia.

Ciò suggerisce **che la collaborazione tra ATF diventerà sempre più importante** per identificare, valutare, conservare temporaneamente e consolidare le batterie prima del riciclo. Senza sistemi di raccolta coordinati, le batterie potrebbero rimanere in stoccaggio per periodi prolungati, aumentando i costi operativi, occupando una capacità di stoccaggio preziosa e introducendo ulteriori rischi per la sicurezza associati ai sistemi ad alta tensione.

Questi risultati hanno portato i ricercatori a riconoscere che una gestione efficace delle batterie va oltre il riciclo e **richiede una maggiore condivisione delle informazioni lungo tutta la catena del valore delle batterie.**

La formazione standardizzata garantirà che **le decisioni** riguardanti il riutilizzo delle batterie, la riproduzione, le applicazioni di seconda vita o il riciclo dipendono da informazioni affidabili relative alla chimica delle batterie, allo stato di salute, alle caratteristiche di progettazione, alla storia della manutenzione e alla durata utile residua.

Di conseguenza, **studi recenti valutano le prospettive e le sfide del Battery Passport e il Digital Vehicle Passport.** (Soavi et al., 2026; Statkiewicz et al., 2026). Con l'aumento continuo del numero di veicoli elettrici in fine vita, l'adozione di queste soluzioni digitali dovrebbe diventare un fattore importante per migliorare la preparazione operativa degli ATF italiani, supportando al contempo la transizione verso una catena del valore delle batterie più circolare.

6.1.1 Differenze tra BEV, HEV e PHEV

Comprendere le differenze tra questi tipi di veicoli è essenziale per comprendere il mercato. Le fonti definiscono e confrontano **i Veicoli Elettrici a Batteria (BEV), i Veicoli Ibridi Elettrici (HEV) e i Veicoli Ibridi Elettrici Plug-in (PHEV)** in base alle loro fonti di energia, ai metodi di ricarica e alle categorie di impatto ambientale.

BEV sono **Veicoli completamente elettrici** che non richiedono benzina o diesel. Sono alimentati esclusivamente da un pacco batteria interno che si ricarica con **elettricità**. Un **HEV** combina un motore a combustione interna convenzionale con un motore elettrico. **HEV Non può essere collegato** per ricaricarsi. Invece, la batteria viene ricaricata attraverso **Frenatura rigenerativa**, che reindirizza l'energia persa durante la frenata per assistere il motore durante l'accelerazione. **PHEV** servono da compromessa, combinando un motore a combustione interna con un motore elettrico e una batteria più grande rispetto agli ibridi standard. **PHEV Può essere addebitato a casa o presso stazioni pubbliche.***(Tipi di veicoli elettrici, s.d.)*

6.2 Metodologia dell'indagine

Per valutare la preparazione degli Impianti Trattamento Autorizzati (ATF) italiani a smantellare veicoli elettrici (EV), è stata condotta un'indagine strutturata rivolta agli impianti di veicoli fuori uso operanti in Italia. Il questionario comprendeva **30 domande**, principalmente **domande a scelta multipla, integrate da un numero limitato di domande aperte per raccogliere informazioni qualitative**, come certificazioni e commenti specifici.

L'obiettivo dell'indagine nazionale era valutare siano **tecnicamente, operativamente e normativamente** preparate ad affrontare l'aumento previsto dei veicoli elettrici e ibridi in fine vita utile, con particolare attenzione **alla gestione delle batterie ad alta** tensione.

6.2.1 Progettazione dell'indagine

È stato sviluppato un questionario strutturato per raccogliere dati sia quantitativi che qualitativi, organizzato in **otto sezioni tematiche**, ciascuna affrontando una dimensione chiave della preparazione settoriale:

1. **Informazioni generali**, cattura delle caratteristiche della struttura e scala operativa.
2. **Infrastruttura e capacità operativa**, valutazione della disponibilità di spazi dedicati, attrezzature e procedure per lo smantellamento di veicoli elettrici e la gestione delle batterie ad alta tensione.
3. **Formazione del personale**, esaminando il livello di formazione tecnica specializzata relativa alla sicurezza delle batterie e alla gestione delle batterie agli ioni di litio.
4. **Conoscenze e certificazioni normative**, valutazione della consapevolezza del Regolamento UE sulle batterie (Regolamento (UE) 2023/1542) e la presenza di certificazioni rilevanti (ad esempio ADR, ISO 14001).

5. **Battery Passport e classificazione dei codici dei rifiuti**, valutazione della preparazione per l'implementazione del Passaporto Batteria e della corretta applicazione dei codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC/CER).
6. **Logistica e relazioni con i produttori**, esplorazione delle attuali pratiche di gestione delle batterie e l'esistenza di accordi con produttori o importatori di veicoli.
7. **Percezioni settoriali e bisogni futuri**, identificazione di barriere percepite, requisiti di supporto e aspettative riguardanti la transizione verso la mobilità elettrica.
8. Commenti finali, che permettono ai rispondenti di fornire osservazioni aperte e riflessioni specifiche per settore.

6.2.2 Distribuzione del questionario

Il sondaggio è stato sviluppato in italiano e distribuito con un **approccio misto**, combinando la diffusione via e-mail con l'amministrazione in presenza durante due conferenze settoriali specifiche di fine vita dei veicoli (ELV) tenutesi nell'ambito di ECOMONDO nel novembre 2025 a Rimini. La distribuzione è stata supportata dalle reti professionali dell'Associazione **Nazionale Demolitori Autoveicoli (ADA)**, **Confederazione Autodemolitori Riuniti (CAR)** e **Assoambiente**.

La diffusione in presenza è stata supportata tramite **Accesso tramite codice QR** e materiali dedicati (Vedi **Figura 25**), facilitando il coinvolgimento diretto con i smantellatori di ELV e incoraggiando la partecipazione in loco. La partecipazione era limitata alle Strutture di Trattamento Autorizzate attive nello smantellamento di ELV, garantendo rilevanza settoriale e coerenza dei dati.

L'accesso tramite QR code è stato intenzionalmente utilizzato durante la raccolta dei dati in loco come metodo principale per aprire il sondaggio. Questa scelta aveva un duplice scopo: primo, facilitare una partecipazione rapida alle conferenze di settore; e secondo, valutare la familiarità degli operatori ATF con **gli strumenti di accesso digitale basati su QR**. Questo aspetto è particolarmente rilevante considerando i prossimi requisiti normativi, come il **Battery Passport e il Digital Vehicle Passport**, che si baseranno su codici QR per fornire accesso a informazioni tecniche e relative alla conformità. Sebbene questo approccio non sia stato progettato come un esperimento comportamentale formale, ha fornito un'osservazione indicativa della preparazione pratica del settore alla ricettività QR.

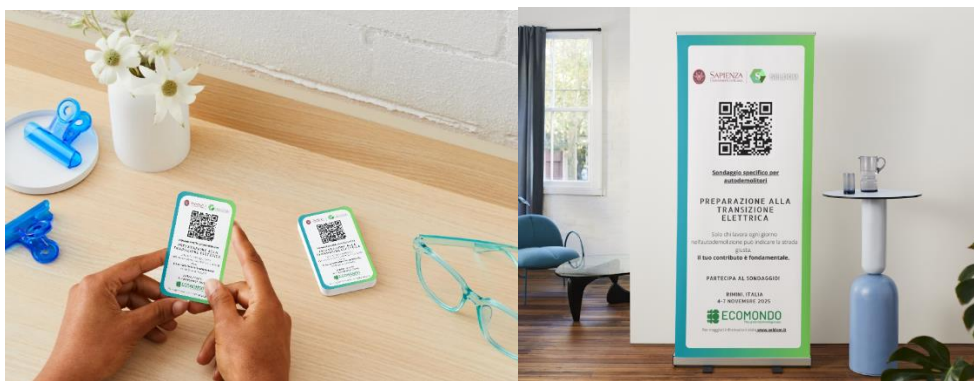


Figura 25. Distribuzione dei sondaggi QR.

6.2.3 Limitazioni dei dati

Nonostante la distribuzione del sondaggio a più di 100 Strutture di Trattamento Autorizzate tramite e-mail e conferenze specifiche per settore, la partecipazione complessiva rimane limitata. È stata osservata una chiara differenza nei tassi di risposta tra i canali di diffusione: la distribuzione via e-mail porta a un piccolo numero di risposte complete ($n = 6$), mentre la raccolta di dati in presenza durante le conferenze di settore ha prodotto un numero maggiore di risposte ($n = 20$). Ciò suggerisce che il coinvolgimento faccia a faccia è stato più efficace nell'incoraggiare la partecipazione all'interno del settore dello smantellamento dell'ELV.

Sono state raccolte in **totale 26 risposte valide**, di **cui 18 non anonime**. Alcuni intervistati gestiscono **più centri di smantellamento**, e il campione include **uno dei maggiori operatori ATF in Italia (Autodemolizione Pollini)**, riflettendo l'eterogeneità strutturale del settore. Di conseguenza, le risposte possono rappresentare pratiche organizzative a livello aziendale piuttosto che singole strutture.

L'analisi si concentra sulla **preparazione tecnica, organizzativa e procedurale** per lo smantellamento di veicoli elettrici, con particolare attenzione alle apparecchiature di sicurezza ad alta tensione, alla formazione del personale, alle procedure di gestione delle batterie e alla conformità normativa

Sebbene la dimensione del **campione limiti l'ambito dei risultati**, l'indagine fornisce **comunque preziose intuizioni esplorative sulla preparazione attuale degli ATF italiani a smantellare veicoli elettrici e ibridi**.



Figura 26. Distribuzione di sondaggi durante conferenze specifiche per settore.

6.2.4 Analisi dei dati

Data la piccola dimensione del campione, l'analisi si basa sull'identificazione di schemi, livelli di preparazione e lacune strutturali all'interno del settore ATF italiano.

6.3 Risultati dell'analisi

Data la **dimensione limitata del campione** e la **distribuzione non casuale**, i risultati sono considerati **esplorativi**, fornendo indicazioni sul **livello attuale di preparazione degli ATF italiani** piuttosto che conclusioni statisticamente rappresentative. Questo sondaggio è uno dei primi sforzi accademici formali per esaminare la transizione verso i veicoli elettrici nel settore.

6.3.1 Profilo strutturale e organizzativo dei rispondenti

Le risposte indicano la partecipazione degli ATF di tutte le regioni italiane, ad eccezione di Abruzzo, Basilicata, Molise, Toscana, Umbria e Valle d'Aosta. Nelle restanti regioni, almeno una risposta riflette un campione geograficamente diversificato. C'è una maggiore concentrazione di risposte provenienti da regioni settentrionali come **Veneto, Emilia-Romagna e Lombardia**, coerente con i modelli nazionali nell'attività di trattamento ELV.

In termini di maturità organizzativa, gli ATF sondati hanno anni di fondazione che vanno dal **1968 al 2017**. Un rispondente è disposto ad aprire un ATF ed è in fase di proiezione. Questa distribuzione temporale evidenzia la coesistenza di centri di smantellamento di lunga data con strutture fondate più recentemente. Questa diversità è rilevante perché l'età di **un'organizzazione può influenzare la sua capacità di investimento**, gli aggiornamenti tecnologici e la familiarità con i requisiti normativi in evoluzione.

Per quanto riguarda la scala operativa, il numero annuale di veicoli smantellati varia notevolmente tra gli intervistati. **Le capacità di trattamento riportate variano da 350 a 25.000 ELV all'anno**. Questo include **15 operatori su piccola scala** che gestiscono da **350 a**

1.000 ELV all'anno, 9 strutture di medie dimensioni che gestiscono **da 1.400 a 6.000 veicoli all'anno** e **2 ATF ad alta capacità** che lavorano **da 21.000 a 25.000 ELV all'anno**. È importante notare che almeno 3 intervistati gestiscono più centri di smantellamento all'interno della stessa struttura aziendale, il che significa che una singola risposta può riflettere pratiche operative consolidate piuttosto che quelle di un singolo sito. Sebbene ciò rifletta la reale eterogeneità strutturale del settore italiano dello smantellamento, rafforza la necessità di interpretare i risultati a livello aziendale piuttosto che come un indicatore della performance media degli stabilimenti.

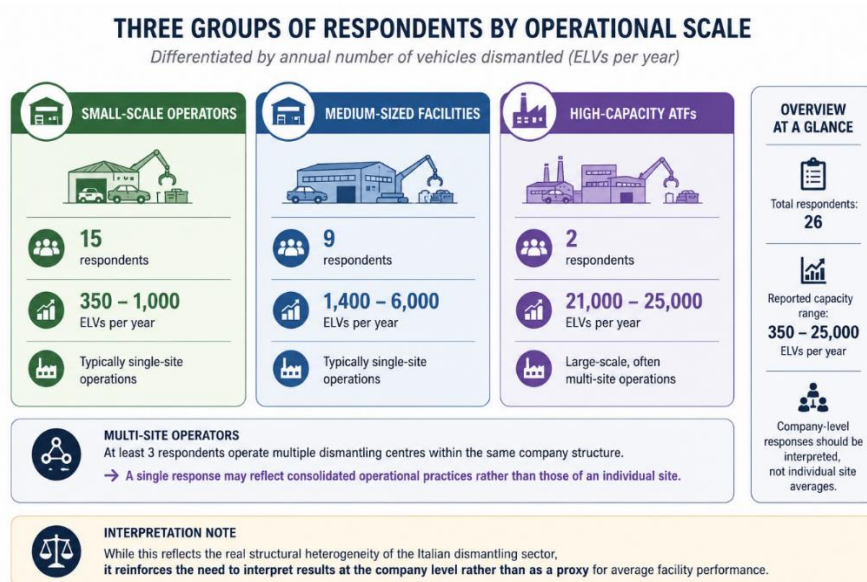


Figura 27. Eterogeneità operativa dei partecipanti al sondaggio.

Questo profilo strutturale e organizzativo conferma che **il sondaggio cattura una sezione eterogenea del settore ATF italiano, comprendendo varie dimensioni, livelli di maturità e contesti territoriali.**

6.3.2 Esposizione attuale a veicoli elettrici e ibridi

La maggior parte degli intervistati (80%) riferisce che il numero di veicoli elettrificati ricevuti è attualmente limitato a meno dell'1%, il che potrebbe indicare nessuno. Alcune strutture riportano livelli di esposizione compresi tra 1% e il 4%, suggerendo una penetrazione disomogenea del mercato e una disponibilità variabile nel settore. **Per gli operatori su piccola scala, ricevere meno dell'1% si traduce in circa 3-7 veicoli elettrici all'anno. Anche se è improbabile che non abbiano mai trattato un veicolo elettrico.** Nel complesso, i veicoli elettrici e ibridi rappresentano attualmente una piccola ma crescente frazione degli ELV in arrivo. Solo un'azienda riceve oltre il 10%, probabilmente a causa delle sue dimensioni. **Molti**

ATF stanno sviluppando la loro preparazione per lo smantellamento degli EV in previsione di futuri requisiti legali piuttosto che rispondere alla domanda attuale.

6.3.3 Infrastruttura Tecnica e Preparazione Operativa

Le risposte mostrano diversi livelli di preparazione tecnica tra le Strutture di Trattamento Autorizzate (Vedi **Figura 28**). Solo **Il 30% degli intervistati dispone di attrezzature specializzate per lo smantellamento di veicoli elettrici (EV) e ibridi elettrici (HEV), mentre il 40% dispone di un'area sicura per conservare batterie ad alta tensione.** Questo implica che il **restante 60% degli intervistati** non hanno tali attrezzature e archiviazioni, non sono né **contemplando la necessità di tali attrezzature e archiviazione (30%)**, oppure **non ci ho mai pensato (30%)**, poiché non hanno ancora smantellato un EV o un HEV.

Solo il 5% degli intervistati ha accesso a strumenti limitati per valutare le condizioni delle batterie, come la misurazione della capacità residua o lo Stato di Salute (SoH). Mentre il 50% ha mostrato interesse ad acquistare questi strumenti, il 45% li ha trovati superflui o non li ha compresi.

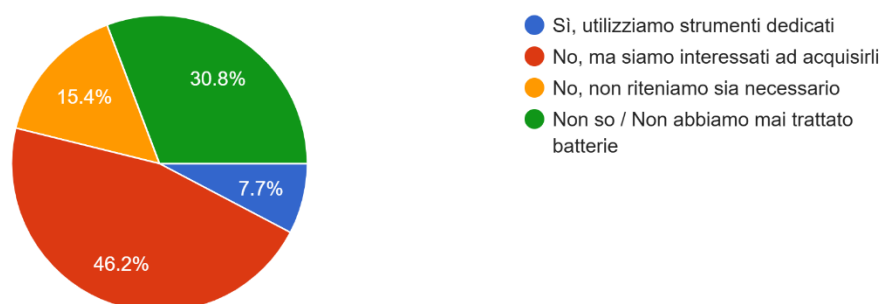


Figura 28. La tua struttura dispone di apparecchiature per misurare la capacità residua o lo stato di salute (SoH) delle batterie ad alta tensione provenienti da veicoli elettrici o ibridi?

Per quanto riguarda **le tecniche di valutazione della batteria**, i risultati indicano un'applicazione pratica molto limitata. Sempre più intervistati riferiscono di non aver valutato **lo stato di conservazione della batteria** o la riutilizzabilità. Solo un piccolo numero riferisce di utilizzare metodi di base o avanzati, come misurare la tensione, la resistenza interna, i dati del sistema di gestione della batteria (BMS) a bordo o software diagnostico proprietario.

Ulteriori risposte suggeriscono che, in alcuni casi, la valutazione delle batterie è delegata ad operatori esterni o che le batterie per veicoli elettrici non sono ancora state gestite a causa dell'assenza di veicoli elettrificati negli afflussi di corrente.

Questi risultati indicano che, nonostante la crescente consapevolezza del riutilizzo delle batterie e dei percorsi di seconda vita, **la valutazione sistematica delle batterie non è ancora**

integrata nelle operazioni di routine dell'ATF. La preparazione tecnica rimane in gran parte focalizzata sulla rimozione e lo stoccaggio sicuro, piuttosto che sulla valutazione diagnostica e sul processo decisionale orientato al valore.

Nel complesso, i risultati indicano che la preparazione fisica allo smantellamento degli EV sta progredendo più rapidamente della capacità diagnostica, confermando che la valutazione delle batterie rimane una lacuna tecnica **importante nell'attuale panorama ATF italiano.**

6.3.4 Capitale Umano e Preparazione alla Formazione

I risultati del sondaggio indicano che **la formazione è presente ma distribuita in modo diseguale all'interno delle strutture.** Solo un rispondente riporta che **tutto il personale tecnico** hanno ricevuto formazione specifica sulle batterie ad alta tensione (Vedi **Figura 29**). **77% degli intervistati** indicano che **solo alcuni operatori.** All'interno della loro organizzazione sono stati formati, mentre un gruppo più piccolo riporta **Nessun addestramento specifico.** Questo suggerisce che, nella maggior parte degli ATF, le competenze legate ai veicoli elettrici siano **concentrati su un numero limitato di individui,** piuttosto che integrato in tutta la forza lavoro.

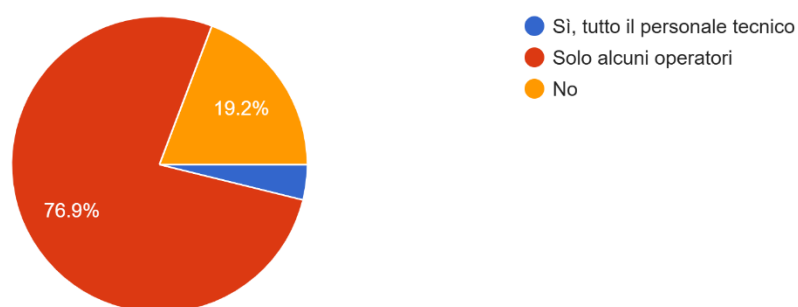


Figura 29. Il personale ha ricevuto una formazione specifica sulla gestione delle batterie ad alta tensione?

Quando la formazione è stata svolta, essa è stata erogata attraverso un **insieme altamente frammentato di fornitori**, riflettendo **l'assenza di un percorso nazionale standardizzato.** Le fonti di formazione segnalate includono **produttori di veicoli**, come Renault Italia; **aziende tecniche e diagnostiche specializzate**, tra cui TEXA, Iris-Mec, Ecoeuro e HIDEEA; **Organismi settoriali e istituzionali**, come la Camera di Commercio e la Confederazione Nazionale dell'Artigianato e della Piccola e Media Impresa (CNA); e **organizzazioni di batterie e orientate alla conformità**, tra cui Academy Cobat e Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI). Esistevano **approcci interni o decentralizzati, in cui** la formazione veniva condotta internamente o delegata ai singoli membri del consorzio.

I formati formazionali variano anch'essi, spaziando da **corsi formali** di certificazione (ad esempio corsi correlati a PAV/PES e AVEI) a **webinar e corsi brevi**, che indicano differenze di profondità, durata e focus operativo. Nonostante questa frammentazione, **solo 4 aziende possiedono la certificazione Autodemolitore Veicoli Elettrici o ibridi (AVEI)**.

L'interesse per ulteriori corsi di formazione rimane costantemente elevato; **25 intervistati hanno fornito le loro informazioni di contatto e sono disposti a partecipare a programmi strutturati e specializzati**. Nel complesso, i risultati indicano che la preparazione al capitale umano sta emergendo ma non ancora è sistemica, evidenziando la necessità di quadri di formazione armonizzati a livello di settore per supportare lo smantellamento sicuro ed efficace dei veicoli elettrici con l'aumento degli afflussi di veicoli elettrici.

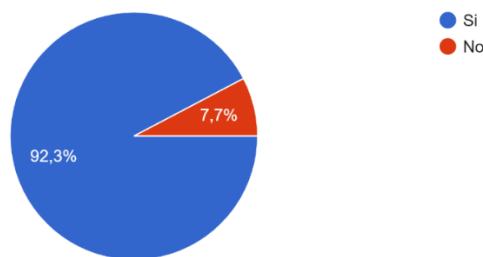


Figura 30. Sei interessato a partecipare a corsi di formazione specifici per la gestione e lo smaltimento dei veicoli elettrici in fine vita?

6.3.5. Conoscenza della Regolamentazione delle batterie (2023/1542)

Nel complesso, i rispondenti mostrano **una chiara divisione della consapevolezza regolatoria**. Mentre il 50% degli ATF dichiara di conoscere il Regolamento Europeo sulle Batterie, il restante 50% riferisce una conoscenza parziale o limitata di esso. Anche le percezioni sulla chiarezza normativa variano, con diversi intervistati che esprimono incertezza riguardo al **ruolo e responsabilità specifiche degli ATF** nella gestione, trattamento o ricondizionamento delle batterie ad alta tensione. (Vedi **Figura 31**)

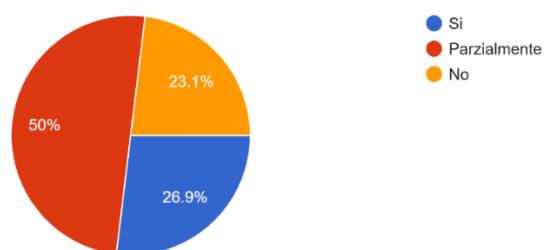


Figura 31. È chiaro quale sia il ruolo degli ATF nella gestione delle batterie?

I risultati suggeriscono che **i requisiti normativi non sono ancora pienamente tradotti in certezza operativa** e che persistono lacune tra l'evoluzione degli obblighi a livello UE e la capacità pratica degli ATF di conformarsi. Ciò evidenzia la necessità di linee guida regolatorie più chiare e di percorsi di certificazione più standardizzati e adattati al settore dello smantellamento.

6.3.6 Conoscenza del Battery Passport e preparazione digitale

I risultati del sondaggio mostrano che **il 65% degli intervistati è a conoscenza dell'introduzione obbligatoria del Battery Passport** per batterie EV e industriali. Tuttavia, **solo il 15% degli ATF dichiara di essere tecnicamente in grado di scansionare il codice QR e accedere alle informazioni sulle batterie** prima o durante le operazioni di smontaggio. Questo divario evidenzia una **significativa discrepanza tra la consapevolezza normativa e la preparazione digitale operativa**. Mentre il 65% degli intervistati riferisce di valutare strumenti per informazioni sulle batterie, il 20% ritiene che la valutazione delle batterie non sia importante.

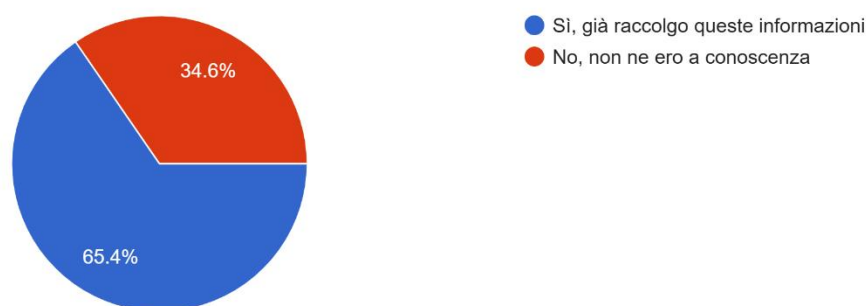


Figura 32. Conoscenza del Battery Passport .

Per quanto riguarda l'utilità dei dati, i rispondenti **identificano i manuali di smontaggio e le sequenze operative come le informazioni più preziose** nel Passaporto della Batteria, seguiti dai **dati sullo stato di salute (SoH)**. Sono considerate rilevanti anche informazioni sul riciclo e sui percorsi di fine vita, sulla composizione chimica e sui materiali, e sulla storia dei cicli delle batterie.

I risultati suggeriscono che, sebbene il Battery Passport sia generalmente considerato uno strumento operativo prezioso, **rimangono significative lacune nelle capacità digitali e nell'integrazione pratica**. Gli ATF riconoscono il potenziale di strumenti come il Battery Passport per ridurre l'incertezza, migliorare la sicurezza nella gestione di batterie ad alta

tensione e migliorare la tracciabilità durante tutto il processo di fine vita. Serve come supporto per il processo decisionale.

6.3.7 Limitazioni all'implementazione del Battery Passport

I risultati di un'indagine da una domanda a scelta multipla indicano che **la barriera più significativa** è la **formazione del personale insufficiente**, riportata dal **46% degli intervistati**, seguita da preoccupazioni sulla **qualità e completezza dei dati Battery Passport (38%)** e dall'incertezza sulle responsabilità legali (38%). Un ulteriore 19% degli ATF identifica la mancanza di strumenti tecnici (ad esempio scanner o software compatibili) come fattore limitante. Solo una piccola minoranza (4%) riporta di non aver percepito ostacoli.

I commenti qualitativi forniti dagli intervistati chiariscono ulteriormente la natura delle preoccupazioni legate ai dati. Un rapporto ATF afferma: *"Le etichette delle batterie sono spesso mancanti, danneggiate o illeggibili, rendendo difficile identificare la composizione della batteria e le caratteristiche tecniche. In assenza di un'etichettatura affidabile, le batterie dovrebbero essere tracciabili tramite un collegamento digitale all'identificazione del veicolo (ad esempio numero di telaio o targa) e recuperabili tramite database accessibili. Senza tale tracciabilità, gli ATF indicano che diventa impossibile determinare la chimica delle batterie e, di conseguenza, applicare il corretto codice dei rifiuti dell'UE, creando rischi di non conformità normativa e trattamento inadeguato a valle."* -ATF

Nel complesso, i **risultati evidenziano che le barriere all'implementazione del Battery Passport** non si limitano alla consapevolezza o alla volontà di partecipazione, ma sono radicate in fallimenti pratici di tracciamento, disponibilità dei dati frammentata e **integrazione insufficiente tra identificatori fisici e sistemi informativi digitali**. Affrontare queste problematiche sarà essenziale per garantire che il Battery Passport funzioni come uno strumento operativo e di conformità efficace per gli ATF, piuttosto che come un requisito normativo puramente formale.

6.3.8 Classificazione dei Codici Europei dei Rifiuti

I risultati del sondaggio mostrano che **il 46% degli intervistati può classificare correttamente le batterie EV, HEV e PHEV** utilizzando i codici EWC appropriati. Un ulteriore **19% indica che la classificazione corretta viene applicata solo in parte**, tipicamente limitata a determinati tipi di batterie o situazioni operative. Al contrario, **il 30% degli ATF riferisce di affidarsi a codici generici per rifiuti**, mentre **il 3,8% dichiara di non essere familiare con i codici EWC**.

Questi risultati indicano che più di un terzo degli intervistati (33,8%) affronta sfide significative nell'applicare una classificazione accurata dei rifiuti per le batterie ad alta tensione. (Vedi **Figura 33**) Data la natura pericolosa delle batterie a base di litio, una classificazione errata o generica comporta rischi per **Tracciabilità, conformità normativa e trattamento a valle**.

Nel complesso, i risultati evidenziano che **la classificazione dei rifiuti rimane una lacuna critica di conformità** per una quota significativa degli ATF, rafforzando la necessità di linee guida più chiare, formazione mirata e integrazione di informazioni specifiche per batteria a supporto delle corrette pratiche di classificazione.

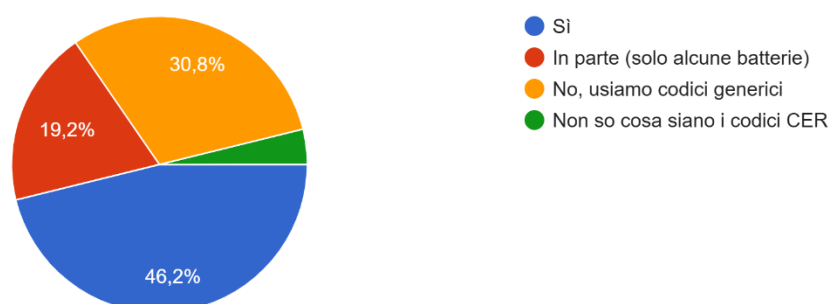


Figura 33. Sei in grado di classificare correttamente le batterie ad alta tensione (EV/HEV/PHEV) con il codice EWC appropriato (ad esempio, 160605)?

6.3.9 Gestione a valle e cooperazione industriale

I risultati del sondaggio confermano che **gli accordi formali di cooperazione restano limitati**, con **il 19%** degli intervistati che riporta accordi consolidati con produttori o importatori, **il 73%** che non ha accordi e **il 7%** che indica che sono in negoziazione accordi.

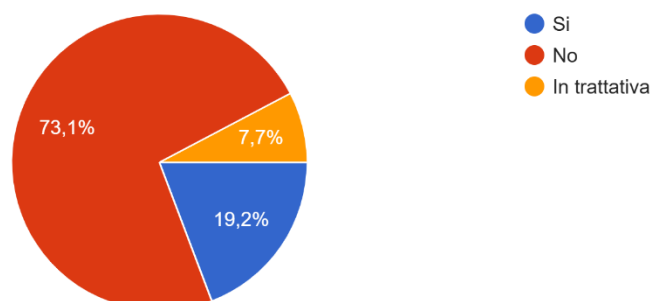


Figura 34. Avete accordi con produttori o importatori di veicoli elettrici riguardo alla gestione delle batterie?

In linea con questa integrazione limitata, le **attività effettivamente svolte dagli ATF** in relazione alle batterie ad alta tensione sono prevalentemente **logistiche piuttosto che orientate al valore**. La maggior parte degli intervistati (**69%**) riferisce che le batterie sono soggette a

uno stoccaggio temporaneo seguito dalla raccolta da parte di operatori terzi. Una quota minore (7%) indica **la rivendita a operatori** certificati, mentre un ulteriore 7% riferisce di svolgere **entrambe le attività**. Gli altri intervistati indicano **di non aver ancora smantellato veicoli elettrici** né di non aver segnalato **alcuna attività di gestione delle batterie** fino ad oggi.

Questi risultati confermano che gli ATF attualmente operano principalmente come **portatori temporanei e punti di trasferimento** per batterie per veicoli elettrici, con un coinvolgimento limitato nella valutazione diagnostica, nelle decisioni di riutilizzo o nelle vie di riciclo dirette. Questo modello operativo riflette sia la bassa prevalenza degli accordi di cooperazione sia le lacune tecniche e normative identificate nelle sezioni precedenti.

Nel complesso, l'integrazione a valle degli ATF all'interno della catena del valore delle batterie EV rimane **debole e transitoria**, evidenziando la necessità di quadri contrattuali più chiari, un migliore coordinamento con gli operatori certificati e un supporto istituzionale più forte per consentire un ruolo più attivo agli ATF nella gestione circolare delle batterie.

6.3.10 Prospettive future sulla preparazione e sulla capacità operativa

L'indagine valuta la presunta preparazione degli ATF a gestire un aumento del 20% negli afflussi di veicoli elettrici (EV) nei prossimi cinque anni e **identifica i principali ostacoli che si prevede influenzeranno la capacità futura**.

La preparazione è vincolata principalmente da fattori economici e normativi. **L'ostacolo più frequentemente segnalato è il costo dell'adattamento e degli investimenti nelle attrezzature, citato dal 76% degli intervistati**, evidenziando il peso finanziario come fattore limitante dominante. **L'incertezza normativa è segnalata dal 57%**, mentre **il 46% degli intervistati manca di informazioni tecniche**, indicando un'ambiguità informativa e legale persistente riguardo ai requisiti di smantellamento dei veicoli elettrici.

Ulteriori vincoli includono **un supporto istituzionale insufficiente (38%) e bisogni di formazione del personale (30%)**, rafforzando le lacune strutturali identificate nelle sezioni precedenti.

I risultati suggeriscono che la capacità degli ATF di assorbire volumi futuri di veicoli elettrici è più limitata dalla **capacità di investimento, dalla chiarezza normativa e dal sostegno istituzionale** che dalla disponibilità personale. Affrontare questi ostacoli sarà essenziale per garantire una transizione senza intoppi verso lo smantellamento su larga scala dei veicoli elettrici all'interno del settore ATF italiano.

6.3.11 Bisogni di supporto e aspettative politiche

I risultati di un sondaggio di una domanda a scelta multipla indicano che la capacità tecnica di rafforzamento è la misura di supporto più frequentemente selezionata, con il 69% degli intervistati che **dà priorità alla formazione tecnica specializzata**. Ciò conferma le lacune di formazione evidenziate nelle sezioni precedenti e riflette la necessità di programmi strutturati e settoriali focalizzati sulla gestione delle batterie ad alta tensione e sulle procedure di smantellamento dei veicoli elettrici.

Le misure di sostegno economico sono inoltre rilevanti, con il 61% degli ATF che indica la necessità di contributi pubblici o incentivi finanziari per compensare i costi di aggiornamento delle attrezzature, infrastrutture di sicurezza e strumenti digitali.

Inoltre, il 57% degli intervistati sottolinea l'importanza di piattaforme dedicate per interagire con i produttori di veicoli, evidenziando la necessità di un migliore coordinamento e scambio di informazioni lungo tutta la catena del valore dei veicoli elettrici.

Il supporto operativo, sotto forma di manuali specifici di smantellamento e linee guida tecniche, è selezionato dal 46% degli intervistati, rafforzando la necessità di una documentazione pratica e standardizzata per garantire operazioni sicure e conformi.

Nel complesso, i risultati indicano che gli ATF richiedono un mix complementare di misure di supporto, combinando formazione, incentivi finanziari, guida operativa e meccanismi di cooperazione strutturati. Un approccio integrato di questo tipo è essenziale per supportare un adattamento efficace alla crescente complessità e volume dei flussi di fine vita dei veicoli elettrici.

6.4 Sintesi dei risultati dell'indagine

L'indagine cattura una sezione eterogenea del settore ELV italiano, **comprendendo strutture di diverse dimensioni, livelli di maturità organizzativa e contesti territoriali**. Questa diversità offre una panoramica rappresentativa delle attuali condizioni operative in cui sta emergendo lo smantellamento dei veicoli elettrici.

I risultati indicano che **gli ATF italiani sono attualmente in una fase di transizione di preparazione per la gestione dei veicoli elettrici in fine vita**. Sebbene il Regolamento (UE) 2023/1542 introduca nuovi obblighi riguardanti la tracciabilità delle batterie, la gestione delle informazioni e la futura implementazione del Passaporto Digitale per la Batteria, l'indagine dimostra che **la prima sfida non è la digitalizzazione in sé, ma garantire che gli ATF possiedano le competenze tecniche necessarie per ricevere, identificare, isolare e gestire in sicurezza le batterie ad alta tensione**. Di conseguenza, **la formazione della forza lavoro**

e la sicurezza operativa dovrebbero essere considerate i primi prerequisiti per un'efficace attuazione del Regolamento.

Da **un punto di vista** tecnico, la valutazione sistematica delle batterie non è ancora integrata nelle operazioni di routine dell'ATF. **La preparazione tecnica attuale** è principalmente **orientata alla rimozione sicura e allo stoccaggio temporaneo delle batterie** ad alta tensione, piuttosto che alla valutazione diagnostica, alla valutazione dello stato di salute o al processo decisionale orientato al valore. Ciò **indica che la valutazione delle batterie rimane una delle principali lacune tecniche che limitano la transizione dallo smantellamento convenzionale degli ELV alla circolarità delle batterie.**

Per quanto riguarda **il capitale umano**, le competenze relative ai veicoli elettrici sono generalmente concentrate in un numero limitato di individui piuttosto che integrate all'interno della forza lavoro. **Le attività di formazione sono erogate tramite fornitori frammentati, riflettendo l'assenza di un percorso di formazione nazionale standardizzato.** Tuttavia, i rispondenti hanno espresso una forte disponibilità a partecipare a programmi strutturati, suggerendo che **il capitale umano rappresenta una delle priorità di investimento più importanti per sostenere la transizione allo smantellamento dei veicoli elettrici.**

Il sondaggio rivela inoltre che **la consapevolezza del Regolamento (UE) 2023/1542 e delle sue implicazioni pratiche rimane limitata.** Sebbene gli intervistati dimostrino una parziale familiarità con la legislazione sulle batterie, persiste incertezza riguardo alle responsabilità specifiche degli ATF nella gestione delle batterie, nello stoccaggio temporaneo, nella gestione a valle e nella possibile preparazione al riutilizzo. Questi risultati evidenziano la necessità di linee guida operative più chiare, schemi di certificazione armonizzati e protocolli pratici di implementazione adattati al ruolo degli smantellatori.

Per quanto riguarda **la preparazione digitale**, il Battery Passport è generalmente percepito come uno strumento prezioso per migliorare l'identificazione, la tracciabilità e il processo decisionale operativo delle batterie. Tuttavia, **i rispondenti hanno individuato ostacoli significativi alla sua implementazione, tra cui infrastrutture digitali limitate, capacità software insufficienti, mancanza di interoperabilità tra i sistemi informativi e formazione del personale inadeguata.** L'implementazione di successo del **Battery Passport dipenderà quindi non solo dalla conformità normativa, ma anche dagli investimenti in hardware in grado di accedere alle informazioni sulle batterie, piattaforme software compatibili e personale formato per interpretare e gestire i dati digitali delle batterie.**

La conformità ambientale rimane un'altra sfida importante. **Le difficoltà nell'assegnare i corretti codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC) alle batterie ad alta tensione**

indicano che sono essenziali linee guida tecniche standardizzate e informazioni affidabili sulle batterie per garantire una classificazione dei rifiuti conforme e un trattamento a valle. Questa constatazione rafforza l'importanza del Modello Lampone: le informazioni digitali sulle batterie devono essere integrate con le pratiche operative di gestione dei rifiuti.

Infine, la **cooperazione industriale lungo tutta la catena del valore delle batterie rimane limitata.** La maggior parte degli ATF attualmente ha poca partecipazione nella diagnostica delle batterie, nella valutazione della seconda vita, nella riproduzione o nelle decisioni sul riciclo. Di conseguenza, sarà necessaria una **collaborazione più forte tra** gli stakeholder per stabilire un'economia circolare integrata per le batterie dei veicoli elettrici.

Nel complesso, i risultati indicano che il settore ELV italiano si sta attivamente adattando alla transizione verso la mobilità elettrica. Tuttavia, l'attuazione del Regolamento (UE) 2023/1542 dovrebbe essere vista come un processo progressivo in cui la competenza tecnica e la formazione della forza lavoro costituiscono la base su cui strumenti di tracciabilità digitale, come il Passaporto a Batterie.

La preparazione degli ATF dipende quindi non solo dall'adozione di nuove tecnologie digitali, ma anche dallo sviluppo delle capacità operative, organizzative e normative necessarie per gestire in modo sicuro ed efficace le batterie ad alta tensione durante il processo di trattamento di fine vita dei veicoli.

Alla luce degli obblighi introdotti dal nuovo Regolamento UE sulle Batterie, **l'Italia richiede un piano nazionale di attuazione concreto per preparare il settore dei veicoli di fine vita alla transizione verso la mobilità elettrica.** Sebbene il Passaporto Batteria rappresenti un passo importante verso il miglioramento della tracciabilità delle batterie, non dovrebbe essere considerato la priorità immediata del settore. La **prima priorità** è garantire che **gli ATF possiedano conoscenze standardizzate, competenze tecniche e procedure di sicurezza per la ricezione, il maneggiamento, lo smantellamento e lo stoccaggio temporaneo di veicoli elettrici e batterie ad alta tensione.** Ciò dovrebbe essere **supportato da uno schema nazionale di certificazione strutturato** che verifichi la competenza degli ATF nella gestione dei veicoli elettrici in modo sicuro e coerente, riconoscendo che non tutte le strutture dispongono attualmente delle capacità necessarie.

Una **seconda priorità** è l'integrazione **digitale degli ATF** all'interno del più ampio sistema di gestione dei veicoli a fine vita. Ciò include il rafforzamento dell'implementazione del Modello Lampone, la promozione dell'applicazione coerente dei codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC) e il miglioramento dello scambio digitale di informazioni tra gli stakeholder. In definitiva, una piattaforma digitale centralizzata come MOVE-HUB o un sistema nazionale

equivalente potrebbe facilitare la collaborazione tra produttori, ATF, riciclatori, rifabbricanti, autorità pubbliche e altri attori coinvolti nella catena del valore ELV. Una tale piattaforma supporterebbe la conformità normativa, migliorerebbe la tracciabilità delle batterie, consentirebbe una condivisione efficiente delle informazioni e rafforzerebbe l'attuazione dei principi dell'economia circolare in tutto il settore.

Capitolo 7 Discussione e Conclusioni

7.1 Logica della ricerca e interpretazione dei risultati

Per concludere, questa ricerca ha adottato un disegno sequenziale che combina analisi della letteratura, osservazioni comparative in tre paesi europei, modellazione operativa e validazione empirica. Ha identificato una lacuna tra requisiti normativi, ricerca accademica e pratica industriale. Sebbene gli studi esistenti si siano concentrati su modelli di ottimizzazione per la logistica inversa, la localizzazione delle strutture, la previsione e l'efficienza del riciclo, è stata data meno attenzione alle metodologie operative che aiutano gli ATF a implementare regolamenti in modo coerente nella pratica quotidiana.

L'indagine nazionale ha mostrato che gli ATF italiani si stanno adattando ai cambiamenti normativi ma continuano ad affrontare difficoltà a causa dell'assenza di procedure standardizzate e di supporto digitale integrato. Questi risultati suggeriscono che il principale ostacolo non è la tecnologia, ma l'implementazione. Sebbene la validazione empirica sia stata condotta in Italia, le sfide individuate sono probabilmente rilevanti per altri paesi europei in fase di transizione verso lo smantellamento dei veicoli elettrici.

Il Modello Lampone colma questa lacuna fornendo una metodologia operativa comune. Stabilisce un percorso strutturato di smantellamento e armonizza l'applicazione dei codici del Catalogo Europeo dei Rifiuti (EWC). Questa ricerca sostiene che la digitalizzazione efficace inizia con la coerenza metodologica piuttosto che con la tecnologia. Dati affidabili non possono essere generati senza una metodologia comune. Una metodologia coerente produce dati coerenti. Dati coerenti supportano la conformità normativa, la tracciabilità delle batterie e decisioni informate.

Il contributo principale del Modello Lampone va oltre la semplice metodologia di smantellamento. Fornisce un quadro operativo in grado di generare le prove necessarie per dimostrare la conformità agli obblighi di riciclo, recupero e rendicontazione introdotti dal proposto Regolamento sui Veicoli di Fine Vita e dal Regolamento UE sulle Batterie. Allo stesso tempo, stabilisce le basi per l'integrazione digitale e per le future piattaforme come

MOVE-HUB, permettendo uno scambio trasparente di informazioni lungo tutta la catena del valore dei veicoli a fine vita e supportando la transizione verso un'economia circolare.

7.2 RQ1: Un quadro per l'accountability nello smantellamento dell'ELV

RQ1: Quale quadro può essere adottato per migliorare l'accountability del processo di smantellamento dei veicoli di fine vita (ELV)?

L'accountability nello smantellamento degli ELV richiede una tracciabilità dimostrabile delle decisioni di recupero. Gli operatori devono essere in grado di dimostrare come i componenti vengano identificati, classificati, gestiti e trasferiti all'interno della catena di recupero. I risultati empirici indicano che questa accountability è attualmente limitata perché **esistono obblighi normativi senza procedure operative corrispondenti**.

Gli ATF spesso affrontano incertezza nell'identificare la composizione delle batterie, assegnare i codici dei rifiuti e documentare i risultati dello smantellamento. Il **sistema regolatorio definisce gli obiettivi ambientali ma non specifica come le azioni di smantellamento debbano essere registrate operativamente**. Di conseguenza, la conformità dipende da interpretazioni individuali piuttosto che da procedure verificabili.

Il framework LAMPONE colma questa lacuna collegando i passaggi di smantellamento, i prodotti dei materiali e la classificazione dei rifiuti in un unico processo operativo. Ogni azione di smantellamento produce un output definito associato a un codice regolatorio dei rifiuti e a un flusso documentato dei materiali. In questo modo, **le decisioni di trattamento diventano tracciabili attraverso la procedura di smantellamento stessa e non solo tramite la rendicontazione finale**.

Il **quadro**, quindi, **migliora l'accountability trasformando lo smantellamento in un flusso di lavoro documentato**. Invece delle dichiarazioni post-trattamento, i registri operativi forniscono prove verificabili delle pratiche di recupero. Questo permette a regolatori, produttori e operatori a valle di confermare come vengono processati i veicoli e come vengono gestiti i materiali.

L'**adattabilità del modello LAMPONE** può essere illustrata dalla transizione dai veicoli a combustione interna ai veicoli elettrici. Il quadro è stato originariamente sviluppato utilizzando operazioni di smantellamento associate agli ELV convenzionali; tuttavia, l'introduzione di batterie ad alta tensione non richiede una riprogettazione della metodologia. Al contrario, è **necessaria solo l'inclusione del codice specifico per i rifiuti pericolosi 16 06 07* per le batterie a base di litio nella fase di depurazione**. Poiché il modello collega le fasi di smantellamento alla classificazione dei rifiuti piuttosto che alle specifiche tecnologie dei

veicoli, nuovi componenti possono essere incorporati assegnando il codice dei rifiuti appropriato alla corrispondente fase operativa. **Ciò dimostra che il framework è tecnologicamente neutro e scalabile, permettendogli di accogliere futuri aggiornamenti normativi o tecnologie emergenti dei veicoli senza alterarne la struttura di base.** I risultati indicano che **migliorare l'accountability nello smantellamento dei veicoli di forza richiede un quadro operativo** che traduca i requisiti normativi in procedure di smantellamento documentate. Il modello LAMPONE fornisce un quadro che collega l'analisi del flusso dei materiali e la classificazione dei rifiuti alle attività di smantellamento di routine.

7.3 RQ2: Standardizzazione, Efficienza e Preparazione degli ATF

RQ2: In che modo la standardizzazione migliora l'efficienza e la preparazione degli Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF) per gli ELV nell'Unione Europea?

L'indagine mostra che gli Impianti di Trattamento Autorizzate (ATF) sono attivamente coinvolte nella transizione alla mobilità elettrica. Gli operatori hanno implementato misure di sicurezza, fornito formazione iniziale e stabilito pratiche di gestione delle batterie. Tuttavia, **nonostante questa volontà di adattamento, la loro preparazione alla transizione rimane incompleta.**

La scoperta chiave è che le difficoltà osservate non derivano da carenze tecniche isolate. Al contrario, lo stesso tipo di limitazione si manifesta in diverse aree operative: **valutazione delle batterie, consapevolezza normativa, classificazione dei rifiuti, accesso alle informazioni, organizzazione della formazione e cooperazione con altri attori.** La ricorrenza di vincoli simili in attività altrimenti non correlate suggerisce una causa comune sottostante.

I risultati indicano che **gli ATF possono smantellare fisicamente veicoli elettrici ma non dispongono di un quadro strutturato per prendere e documentare decisioni relative alle batterie.** In pratica, gli operatori devono interpretare individualmente i requisiti normativi, senza riferimenti operativi condivisi. Di conseguenza, la conformità diventa dipendente dalle pratiche locali piuttosto che da procedure ripetibili.

La **lacuna di preparazione individuata in questo studio non è quindi principalmente tecnologica. È organizzativa e procedurale.** La regolamentazione da sola non può garantire un'implementazione coerente perché definisce obblighi ma non flussi di lavoro **operativi.**

La standardizzazione migliora la pre stabilendo procedure condivise. Quando le attività di smantellamento seguono passaggi predefiniti, gli operatori non si affidano più all'interpretazione individuale per identificare batterie, assegnare codici o documentare il trattamento. I requisiti normativi possono essere applicati in modo coerente tra le strutture.

L'efficienza migliora perché i flussi di lavoro standardizzati riducono il tempo speso per risolvere dubbi sulla classificazione, questioni amministrative e coordinamento con attori esterni.

Un programma di formazione standardizzato in tutto il settore può migliorare la coerenza nelle conoscenze, nella terminologia e nell'impatto nelle operazioni quotidiane e nello scambio di informazioni tra gli ATF. Supporto alla disponibilità di competenze tecniche.

Un ulteriore vincolo che emerge dai commenti qualitativi riguarda la gestione a valle delle batterie ad alta tensione rimosse. Un **ATF afferma che** *"le strutture avranno bisogno di spazi adatti per accumulare in sicurezza quantità crescenti di batterie, gestendo il rischio di incendio e aggiornando le autorizzazioni degli impianti per includere i codici aggiuntivi sui rifiuti richiesti per le messa nelle attività riservate."* In pratica, **le batterie spesso rimangono in loco perché la raccolta da parte di impianti di trattamento specializzati è lenta.** Gli operatori a valle tendono a ritardare la raccolta per ottimizzare i costi di trasporto, e la capacità di riciclo è concentrata in un numero limitato di strutture. Di conseguenza, gli ATF sono costretti a conservare le batterie per lunghi periodi in condizioni di stoccaggio temporanee, aumentando i carichi di sicurezza, regolamentazione e amministrativo. Questa osservazione indica che **la preparazione è influenzata non solo dalla capacità di smantellamento, ma anche dalla disponibilità e organizzazione delle infrastrutture di trattamento a valle**, rafforzando la necessità di procedure regolatorie coordinate, percorsi di autorizzazione chiari e un sistema di gestione più strutturato per i flussi delle batterie.

7.4 Conclusioni

L'adozione del Regolamento europeo sui veicoli fuori uso (ELV) nel 2026 segna un cambiamento di paradigma nella gestione dei veicoli di fine vita, sostituendo approcci nazionali frammentati con un quadro normativo armonizzato incentrato su circolarità, tracciabilità e responsabilità del produttore. Questa transizione legislativa richiede **agli ATF di andare oltre le pratiche tradizionali di smantellamento verso metodologie di trattamento standardizzate e supportate digitalmente**, capaci di dimostrare la conformità normativa massimizzando il recupero di parti riutilizzabili e materie prime secondarie.

In questo contesto, questa tesi dimostra che **il Modello Lampone rappresenta più di un semplice sistema di supporto allo smantellamento digitale; costituisce un quadro metodologico armonizzato progettato per operare i requisiti tecnici e di reportistica introdotti dal nuovo Regolamento ELV.** Integrando sequenze di smantellamento standardizzate, analisi del flusso dei materiali, codifica dei rifiuti e gestione digitale delle

informazioni in un'unica metodologia operativa, il modello traduce gli obblighi legislativi in procedure pratiche che possono essere implementate in modo coerente tra impianti di trattamento eterogenei.

Il modello affronta direttamente gli obiettivi principali del Regolamento supportando lo smantellamento rapido e non distruttivo, l'identificazione standardizzata dei componenti riutilizzabili, la quantificazione accurata dei materiali recuperati e la documentazione trasparente delle operazioni di trattamento. Attraverso l'integrazione di sistemi informativi digitali, tra cui il Passaporto Veicolo di Circolarità (CVP), il Passaporto Digitale a Batteria, l'identificazione obbligatoria basata su VIN e le future infrastrutture del Passaporto Prodotto Digitale, **il Modello Lampone consente di incorporare istruzioni di smantellamento specifiche per veicolo nelle operazioni quotidiane, trasformando le attività di smantellamento in un processo guidato dai dati e completamente tracciabile.**

Un contributo principale della metodologia è l'istituzione di **un linguaggio** comune tra operazioni di smantellamento e rendicontazione normativa. Combinando **i codici dei rifiuti con l'analisi del flusso dei materiali, il modello produce dataset standardizzati in grado di soddisfare i requisiti informativi stabiliti dal nuovo quadro di Responsabilità Estesa del Produttore (EPR).** Tali informazioni diventano strategicamente preziose per i produttori di veicoli, che ora devono dimostrare la conformità agli obiettivi obbligatori di riutilizzo, riciclo e recupero, inclusi gli obblighi di contenuto di materiali riciclati e il recupero delle materie prime critiche stabiliti dal Regolamento ELV e dal Regolamento sulle Batterie. Di conseguenza, **lo smantellamento dei dati si trasforma da un record operativo interno a un bene economicamente prezioso** che converte gli ATF in HUBS basati sui dati.

La metodologia rafforza inoltre la preparazione operativa per le tecnologie emergenti dei veicoli. Piuttosto che affidarsi esclusivamente a investimenti tecnologici, questa tesi dimostra che **la preparazione normativa dipende principalmente dall'implementazione di metodologie operative ripetibili e standardizzate, capaci di adattarsi a una continua evoluzione legislativa e tecnologica.** La preparazione per i veicoli elettrici in fase di vita finale rimane nell'attivare un percorso di formazione standardizzato e procedure standardizzate per la rimozione o lo stoccaggio delle batterie. Ciò garantirebbe che i veicoli elettrici ad alta tensione possano essere trattati in modo sicuro e coerente.

Oltre alla conformità normativa, **il modello Lampone contribuisce a migliorare la gestione interna dell'inventario** collegando i componenti smontati a sistemi di identificazione standardizzati e classificazioni dei materiali. Questo facilita applicazioni di seconda vita

controllate dalla qualità, permettendo agli ATF di procedere con **l'etichettatura dei componenti riutilizzabili**.

Il modello Lampone migliora la tracciabilità durante tutte le operazioni di smantellamento e supporta materiali di valore superiore prima dei flussi di riciclo. Inoltre, la metodologia fornisce una base per futuri sforzi di armonizzazione internazionale **generando dataset standardizzati che rafforzano la collaborazione tra i smantellatori e supportano l'interoperabilità tra i nuovi sistemi Digital Product Passport nei principali mercati globali**, riducendo così la frammentazione normativa e facilitando lo sviluppo di pratiche di economia circolare coerenti a livello globale.

Riferimenti Bibliografici

- 2000/532/EC: Commission Decision of 3 May 2000 Replacing Decision 94/3/EC Establishing a List of Wastes Pursuant to Article 1(a) of Council Directive 75/442/EEC on Waste and Council Decision 94/904/EC Establishing a List of Hazardous Waste Pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on Hazardous Waste (Notified under Document Number C(2000) 1147) (Text with EEA Relevance), 226 OJ L (2000).
<http://data.europa.eu/eli/dec/2000/532/oj/eng>
- Abdullah, Z. T. (2021). Assessment of end-of-life vehicle recycling: Remanufacturing waste sheet steel into mesh sheet. In *PLoS ONE* (Vol. 16, Issue 12 December).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261079>
- Abdullah, Z. T. (2024). Remanufacturing waste steel sheet from end-of-life vehicles into electrical installation wall junction boxes: Quantitative sustainability assessment. *Results in Engineering*, 21, 101767. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101767>
- Abeykoon, C., McMillan, A., Dasanayaka, C. H., Huang, X., & Xu, P. (2021). Remanufacturing using end-of-life vehicles and electrical and electronic equipment polymer recyclates—A paradigm for assessing the value proposition. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 4(4), 434–448. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2021.06.005>
- Adler, P., & Cole, R. (1993). Designed for Learning: A Tale of Two Auto Plants. *Sloan Management Review*, 34.
- Advanced topics in information technology standards and standardization research. Volume 1.* (2006). Hershey, PA : Idea Group Pub.
http://archive.org/details/advancedtopicsin0000unse_o3s0
- Ahmed, S., Ahmed, S., Shumon, Md. R. H., Quader, M. A., Cho, H. M., & Mahmud, Md. I. (2016). Prioritizing Strategies for Sustainable End-of-Life Vehicle Management Using Combinatorial Multi-Criteria Decision Making Method. In *International Journal of Fuzzy Systems* (Vol. 18, Issue 3, pp. 448–462). <https://doi.org/10.1007/s40815-015-0061-0>
- Ali, A. M., Abdel-Basset, M., Abouhawwash, M., Gharib, M., & Mohamed, M. (2024). N-type-2-ARAS: An efficient hybrid multi-criteria optimization approach for end-of-life vehicle's recycling facility location: A sustainable approach. In *Expert Systems with Applications* (Vol. 250). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123873>
- Anh, H. Q., Watanabe, I., Tue, N. M., Tuyen, L. H., Viet, P. H., Chi, N. K., Minh, T. B., & Takahashi, S. (2020). Polyurethane foam-based passive air sampling for simultaneous determination of POP- and PAH-related compounds: A case study in informal waste processing and urban areas, northern Vietnam. In *Chemosphere* (Vol. 247).
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125991>
- Anthony, C., & Cheung, W. M. (2017). Cost evaluation in design for end-of-Life of automotive components. In *Journal of Remanufacturing* (Vol. 7, Issue 1, pp. 97–111).
<https://doi.org/10.1007/s13243-017-0035-5>
- ARGUS, S. and I. S. in E. and P. H. G. (2016, November 7). *Summary report on the implementation of the ELV Directive for the periods 2008-2011 and 2011- 2014.*
- Baccini, P., & Brunner, P. (2012). *Metabolism of the Anthroposphere: Analysis, evaluation, design (2nd edition)*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8720.001.0001>
- Bachér, J., Laatikainen-Luntama, J., Rintala, L., & Horttanainen, M. (2025). The distribution of valuable metals in gasification of metal-containing residues from mechanical recycling of end-of-life vehicles and electronic waste. *Journal of Environmental Management*, 373, 123526. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123526>

- Bachér, J., Pihkola, H., Kujanpää, L., & Mroueh, U.-M. (2018). Advancing the circular economy through group decision-making and stakeholder involvement. In *Detritus* (Vol. 4, Issue December, pp. 22–35). <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2018.13741>
- Bachler, L., & Rettenmeier, M. (2026). Disassembly of end-of-life automotive traction battery packs: A cost analysis and benchmark of distinct technological approaches. *Production Engineering*, 20(1), 36. <https://doi.org/10.1007/s11740-025-01405-3>
- Baldassarre, B. (2025). Circular economy for resource security in the European Union (EU): Case study, research framework, and future directions. *Ecological Economics*, 227, 108345. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108345>
- Blind, K. (2004). The Economics of Standards: Theory, Evidence, Policy. In *The Economics of Standards*. Edward Elgar Publishing. <https://www.elgaronline.com/monobook/book/9781035305155/9781035305155.xml>
- Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Mathieux, F., & Pavel, C. (2020). *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study*. <https://doi.org/10.2873/58081>
- Bobba, S., Eynard, U., Maury, T., Ardente, F., Blengini, G. A., & Mathieux, F. (2023). Circular Input Rate: Novel indicator to assess circularity performances of materials in a sector – Application to rare earth elements in e-vehicles motors. *Resources, Conservation and Recycling*, 197, 107037. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107037>
- Brunner, P. (2015). *Application of Material Flow Analysis for Environmental and Resource Management*.
- Brunner, P., & Rechberger, H. (2004). Practical Handbook of Material Flow Analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9. <https://doi.org/10.1007/BF02979426>
- Brunsson, N., & Jacobsson, B. (2002). *A World of Standards*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199256952.001.0001>
- Bruyère, D., Simon, S., Haas, H., Conte, T., & Menad, N.-E. (2016). Cryogenic ball milling: A key for elemental analysis of plastic-rich automotive shredder residue. In *Powder Technology* (Vol. 294, pp. 454–462). <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.03.009>
- CO2 reduction potential in European waste management*. (n.d.). Retrieved February 11, 2026, from https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2022/01/CO2-Study_Final_202201.pdf
- Copani, G., Shafinejad, P., Hipke, T., Haase, R., & Paizs, T. (2022). New metals remanufacturing business models in automotive industry. *Procedia CIRP*, 112, 436–441. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.09.033>
- Cossu, R., & Williams, I. D. (2015). Urban mining: Concepts, terminology, challenges. *Waste Management, Urban Mining*, 45, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.040>
- Council of the EU. (2026, June 29). *Council greenlights rules for a more circular automotive sector*. Consilium EU. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2026/06/29/council-greenlights-rules-for-a-more-circular-automotive-sector/>
- David, P., & Greenstein, S. (1990). The Economics Of Compatibility Standards: An Introduction To Recent Research. *Economics of Innovation and New Technology*, 1, 3–41. <https://doi.org/10.1080/104385990000000002>
- Despeisse, M., Kishita, Y., Nakano, M., & Barwood, M. (2015). Towards a Circular Economy for End-of-Life Vehicles: A Comparative Study UK – Japan. *Procedia CIRP*, 29, 668–673. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.122>
- Directive—2000/53—EN - EUR-Lex*. (2025, January 15). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/53/oj/eng>

- Directorate-General for Environment (European Commission). (2020). *2020 Circular Economy Action Plan: International aspects*. Publications Office of the European Union.
<https://data.europa.eu/doi/10.2779/085517>
- Ehm, F. (2024). Scheduling and process planning for the dismantling shop with flexible disassembly mode and recovery level. *Computers & Industrial Engineering*, 189, 109927.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.109927>
- Electric Vehicle Types: HEV, BEV & PHEV Explained* | BYD UK. (n.d.). BYD. Retrieved February 5, 2026, from <https://www.byd.com/uk/electric-cars/guides/hev-bev-and-phev-explained>
- EMIS Navigator. (n.d.). *VLAREMA*. Retrieved January 21, 2026, from
<https://navigator.emis.vito.be/detail?woId=43991&woLang=en>
- European Commission. (2026, February 5). *Weekly Oil Bulletin*. https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/weekly-oil-bulletin_en
- Favarin, S., Berlusconi, G., Aziani, A., & Corradini, S. (2023). Transnational trafficking networks of end-of-life vehicles and e-waste. In *Global Crime* (Vol. 24, Issue 3, pp. 215–237).
<https://doi.org/10.1080/17440572.2023.2217101>
- Fixson, S. (2007). Modularity and Commonality Research: Past Developments and Future Opportunities. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 15, 85–111.
<https://doi.org/10.1177/1063293X07078935>
- Flynn, B. B., Sakakibara, S., & Schroeder, R. G. (1995). Relationship between JIT and TQM: Practices and Performance. *The Academy of Management Journal*, 38(5), 1325–1360.
<https://doi.org/10.2307/256860>
- Gassner, A., Lederer, J., Kovacic, G., Mollay, U., Schremmer, C., & Fellner, J. (2021). Projection of material flows and stocks in the urban transport sector until 2050 – A scenario-based analysis for the city of Vienna. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 311).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127591>
- Gołębiewski, B., Trajer, J., Jaros, M., & Winiczenko, R. (2013). Modelling of the location of vehicle recycling facilities: A case study in Poland. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 80, Issue 1, pp. 10–20). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.005>
- Guo, W., Li, K., Fang, Z., Feng, T., & Shi, T. (2022). A sustainable recycling process for end-of-life vehicle plastics: A case study on waste bumpers. In *Waste Management* (Vol. 154, pp. 187–198). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.006>
- Gupta, A., & Mason, M. (Eds.). (2014). *Transparency in Global Environmental Governance: Critical Perspectives*. MIT Press.
- Halabi, E. E., Third, M., & Doolan, M. (2015). Machine-based Dismantling of End of Life Vehicles: A Life Cycle Perspective. *Procedia CIRP*, 29, 651–655.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.078>
- Halkos, G. E., & Aslanidis, P.-S. C. (2024). Reviewing the integrated institutional waste-related framework for circular economy in the European Union. *Waste Management Bulletin*, 2(3), 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.06.002>
- Hasibul, I. M., Gustav, B., & Malin, T. (2018). Adoption of lean philosophy in car dismantling companies in Sweden-a case study. *Procedia Manufacturing*, 25, 620–627.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.093>
- Hu, S., & Wen, Z. (2015). Why does the informal sector of end-of-life vehicle treatment thrive? A case study of China and lessons for developing countries in motorization process. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 95, pp. 91–99).
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.12.003>

- Humphrey, J., & Schmitz, H. (2001). Governance in Global Value Chains. *Http://Lst-liep.liep-Unesco.Org/Cgi-Bin/Wwwi32.Exe/[In=epidoc1.in]/?T2000=013597/(100)*, 32.
<https://doi.org/10.1111/j.1759-5436.2001.mp32003003.x>
- Inghels, D., Dullaert, W., Raa, B., & Walther, G. (2016). Influence of composition, amount and life span of passenger cars on end-of-life vehicles waste in Belgium: A system dynamics approach. In *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Vol. 91, pp. 80–104).
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.005>
- ISO - About ISO. (n.d.). ISO. Retrieved February 11, 2026, from <https://www.iso.org/about>
- Jordão, H., Sousa, A. J., & Carvalho, M. T. (2016). Optimization of wet shaking table process using response surface methodology applied to the separation of copper and aluminum from the fine fraction of shredder ELVs. In *Waste Management* (Vol. 48, pp. 366–373).
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.006>
- Jung, S., Lee, T., Lee, J., Lin, K.-Y. A., Park, Y.-K., & Kwon, E. E. (2021). Catalytic pyrolysis of plastics derived from end-of-life-vehicles (ELVs) under the CO₂ environment. In *International Journal of Energy Research* (Vol. 45, Issue 11, pp. 16781–16793).
<https://doi.org/10.1002/er.6927>
- Karagöz, S., Deveci, M., Simic, V., & Aydin, N. (2021). Interval type-2 Fuzzy ARAS method for recycling facility location problems. *Applied Soft Computing*, 102, 107107.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107107>
- Keeken, M. van, Dullaert, W. E. H., Inghels, D. A. M., & Wissink, P. L. J. (2024). The effects of product lifetime extension on short- and long-term supply chain circularity: A case study of the European aluminum automotive supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 211, 107836. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107836>
- Kiel Institute. (2026, January 5). *KITE Insta Analysis: US tariffs could significantly impact Europe's automotive sector*. <https://www.kielinstitut.de/publications/news/kite-insta-analysis-us-tariffs-could-significantly-impact-europes-automotive-sector/>
- Kronemeyer, N., Mittag, H., Gabrisch, C., Leker, J., Lux, S., Schmuck, R., & Duffner, F. (2026). Challenges and trends in automotive battery recycling. *Nature Energy*, 1–13.
<https://doi.org/10.1038/s41560-026-02092-9>
- Kudelska, I., Kosacka, M., & Lewandowska, K. W. (2017). How to Support Storage Process in Dismantling Facility with IT Solutions? – Case Study. *Procedia Manufacturing*, 11, 703–710.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.170>
- Kuşakcı, A. O., Ayvaz, B., Cin, E., & Aydın, N. (2019). Optimization of reverse logistics network of End of Life Vehicles under fuzzy supply: A case study for Istanbul Metropolitan Area. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 215, pp. 1036–1051).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.090>
- Kuznetsova, E., Parshina, V., Markina, A., & Amosov, N. (2021). Comprehensive Disposal of Decommissioned Vehicles. *Transportation Research Procedia*, 54, 362–369.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.083>
- Lawson, H. (2025, December 22). German auto exports hit hard by Trump tariffs, study shows. *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/german-auto-exports-hit-hard-by-trump-tariffs-study-shows-2025-12-22/>
- Le infrastrutture di ricarica a uso pubblico in Italia Settima edizione. (2026, April 3). *Motus-E*.
https://www.motus-e.org/studi_e_ricerche/le-infrastrutture-di-ricarica-a-uso-pubblico-in-italiasettima-edizione/
- León, J. de C. y. (n.d.). *Memoria resumen anual de residuos* [Text]. Junta de Castilla y León. (Castilla y León). Retrieved February 12, 2026, from

- https://medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100Detalle/1284148974303/_/1284148974303/1284148974303
- Li, J., Barwood, M., & Rahimifard, S. (2018). Robotic disassembly for increased recovery of strategically important materials from electrical vehicles. In *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* (Vol. 50, pp. 203–212). <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.09.013>
- Li, W., Peng, Y., Zhu, Y., Pham, D. T., Nee, A. Y. C., & Ong, S. K. (2024). End-of-life electric vehicle battery disassembly enabled by intelligent and human-robot collaboration technologies: A review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 89, 102758. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102758>
- Liu, J., Daigo, I., Panasiuk, D., Dunuwila, P., Hamada, K., & Hoshino, T. (2022). Impact of recycling effect in comparative life cycle assessment for materials selection—A case study of light-weighting vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 349, 131317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131317>
- Mahmoudzadeh, M., Mansour, S., & Karimi, B. (2013). To develop a third-party reverse logistics network for end-of-life vehicles in Iran. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 78, pp. 1–14). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.06.006>
- Matos, J., Santos, S., Simões, C. L., Martins, C. I., & Simoes, R. (2023). Practical application of circularity micro-indicators to automotive plastic parts in an industrial context. *Sustainable Production and Consumption*, 43, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.11.009>
- Mayers, C. K. (2007). Strategic, financial, and design implications of extended producer responsibility in Europe: A producer case study. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 11, Issue 3, pp. 113–131). <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1228>
- Mayyas, A., Qattawi, A., Omar, M., & Shan, D. (2012). Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 1845–1862. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.012>
- Mazzanti, M., & Zoboli, R. (2006). Economic instruments and induced innovation: The European policies on end-of-life vehicles. In *Ecological Economics* (Vol. 58, Issue 2, pp. 318–337). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.06.008>
- Modoi, O.-C., & Mihai, F.-C. (2022). E-Waste and End-of-Life Vehicles Management and Circular Economy Initiatives in Romania. In *Energies* (Vol. 15, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/en15031120>
- Mohammad, W., Elomri, A., & Kerbache, L. (2022). The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies. *IFAC-PapersOnLine, 10th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2022*, 55(10), 476–483. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.439>
- Mohan, T. V. K., & Amit, R. K. (2020). Dismantlers' dilemma in end-of-life vehicle recycling markets: A system dynamics model. *Annals of Operations Research*, 290(1), 591–619. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2930-z>
- Muñoz, I., Rieradevall, J., Domènech, X., & Gazulla, C. (2006). Using LCA to assess eco-design in the automotive sector: Case study of a polyolefinic door panel. In *International Journal of Life Cycle Assessment* (Vol. 11, Issue 5, pp. 323–334). <https://doi.org/10.1065/lca2005.05.207>
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- New car registrations: +4% in May 2026 year-to-date; battery-electric 20% market share. (2026, June 23). *ACEA - European Automobile Manufacturers' Association*. <https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-4-in-may-2026-year-to-date-battery-electric-20-market-share/>

- Ortego, A., Valero, A., Valero, A., & Iglesias, M. (2018). Downcycling in automobile recycling process: A thermodynamic assessment. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 136, pp. 24–32). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.006>
- Özceylan, E., Demirel, N., Çetinkaya, C., & Demirel, E. (2017). A closed-loop supply chain network design for automotive industry in Turkey. In *Computers and Industrial Engineering* (Vol. 113, pp. 727–745). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.022>
- Parchomenko, A., Nelen, D., Gillabel, J., Vrancken, K. C., & Rechberger, H. (2021). Resource effectiveness of the European automotive sector – a statistical entropy analysis over time. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105558. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105558>
- Petrauskienė, K., Tverskytė, R., & Dvarionienė, J. (2022). Environmental and economic benefits of electric, hybrid and conventional vehicle treatment: A case study of Lithuania. In *Waste Management* (Vol. 140, pp. 55–62). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.009>
- Pidikiti, V. S., Vijaya, A., Valilai, O. F., & Wicaksono, H. (2023). An Ontology Model to Facilitate the Semantic Interoperability in Assessing the Circular Economy Performance of the Automotive Industry. *Procedia CIRP*, 120, 1351–1356. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.175>
- Raja Mamat, T. N. A., Mat Saman, M. Z., Sharif, S., Simic, V., & Abd Wahab, D. (2018). Development of a performance evaluation tool for end-of-life vehicle management system implementation using the analytic hierarchy process. In *Waste Management and Research* (Vol. 36, Issue 12, pp. 1210–1222). <https://doi.org/10.1177/0734242X18790361>
- Sakai, S., Yoshida, H., Hiratsuka, J., Vandecasteele, C., Kohlmeyer, R., Rotter, V. S., Passarini, F., Santini, A., Peeler, M., Li, J., Oh, G.-J., Chi, N. K., Bastian, L., Moore, S., Kajiwar, N., Takigami, H., Itai, T., Takahashi, S., Tanabe, S., ... Yano, J. (2014). An international comparative study of end-of-life vehicle (ELV) recycling systems. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0173-2>
- Sakkas, N., & Manios, T. (2003). End of life vehicle management areas of low technology sophistication. A case study in Greece. In *Business Strategy and the Environment* (Vol. 12, Issue 5, pp. 313–325). <https://doi.org/10.1002/bse.373>
- Sato, F. E. K., Furubayashi, T., & Nakata, T. (2018). Energy and CO2 Benefit Assessment of Reused Vehicle Parts through a Material Flow Approach. In *International Journal of Automotive Engineering* (Vol. 9, Issue 2, pp. 91–98). https://doi.org/10.20485/ISAEIJAE.9.2_91
- Sato, F. E. K., Furubayashi, T., & Nakata, T. (2019). Application of energy and CO2 reduction assessments for end-of-life vehicles recycling in Japan. *Applied Energy*, 237, 779–794. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.002>
- Shah, R., & Ward, P. (2003). Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance. *Journal of Operations Management*, 21, 129–149. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- Simic, V., Karagoz, S., Deveci, M., & Aydin, N. (2021). Picture fuzzy extension of the CODAS method for multi-criteria vehicle shredding facility location. In *Expert Systems with Applications* (Vol. 175). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114644>
- Singh, R. K., Yabar, H., Nozaki, N., Niraula, B., & Mizunoya, T. (2017). Comparative study of linkage between environmental policy instruments and technological innovation: Case study on end-of-life vehicles technologies in Japan and EU. In *Waste Management* (Vol. 66, pp. 114–122). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.035>
- Skeete, J.-P., Wells, P., Dong, X., Heidrich, O., & Harper, G. (2020). Beyond the Event horizon: Battery waste, recycling, and sustainability in the United Kingdom electric vehicle transition. *Energy Research & Social Science*, 69, 101581. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101581>

- Slack, N., Johnston, R., & Brandon-Jones, A. (2016). *Operations Management*. Pearson International. <https://elibrary.pearson.de/book/99.150005/9781292098715>
- Soavi, F., Gregucci, A., Liverani, A., Mojtahedi, S., Petri, E., Mascetti, F., Capodarca, F., & Bel Hadj Jrad, E. (2026). The European Battery Regulation and Digital Battery Passport: Prospects and Challenges. *Batteries*, 12(3), 97. <https://doi.org/10.3390/batteries12030097>
- Sokić, M., Ilić, I., Manojlović, V., Marković, B., Gulišija, Z., Pavlović, M., & Štrbac, N. (2016). Modeling and Prediction of the end of Life Vehicles Number Distribution in Serbia. *Acta Polytechnica Hungarica*, 13, 2016–2159. <https://doi.org/10.12700/APH.13.4.2016.4.10>
- Soo, V. K., Compston, P., & Doolan, M. (2016). Is the Australian Automotive Recycling Industry Heading towards a Global Circular Economy? – A Case Study on Vehicle Doors. *Procedia CIRP*, 48, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.099>
- Soo, V. K., Compston, P., & Doolan, M. (2018). The Impact of Joining Choices on Vehicle Recycling Systems. *Procedia CIRP*, 69, 843–848. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.009>
- Soo, V. K., Peeters, J., Compston, P., Doolan, M., & Duflou, J. R. (2017). Comparative Study of End-of-Life Vehicle Recycling in Australia and Belgium. *Procedia CIRP*, 61, 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.222>
- Statkiewicz, W., Ragin-Skorecka, K., Krzywy, J., & Nowak, F. (2026). Toward Circular Electromobility: Integrating Digital Product Passports into EV Battery Disassembly Processes. *Procedia Computer Science*, 7th International Conference on Industry of the Future and Smart Manufacturing (Former International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing), 277, 1704–1713. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2026.02.208>
- Steward, D., Mayyas, A., & Mann, M. (2019). Economics and Challenges of Li-Ion Battery Recycling from End-of-Life Vehicles. *Procedia Manufacturing*, 33, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.033>
- Summary report on the implementation of the ELV Directive for the periods 2008-2011 and 2011-2014. (n.d.). Retrieved February 3, 2026, from https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/elv/elv_implementation_2011_2014.pdf
- Swann, G. M. P. (2010). The economics of standardization: An update. *Gov.Uk*. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a790abd40f0b679c0a0812d/10-1135-economics-of-standardization-update.pdf>
- Tarrar, M., Despeisse, M., & Johansson, B. (2021). Driving vehicle dismantling forward—A combined literature and empirical study. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126410. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126410>
- The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues*. (2010). <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5430>
- Timmermans, S., & Epstein, S. (2010). *A World of Standards But Not a Standard World: Toward a Sociology of Standards and Standardization* (SSRN Scholarly Paper No. 1691324). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.012809.102629>
- Trang, N. T. N., & Li, Y. (2023). Reverse supply chain for end- of- life vehicles treatment: An in-depth content review. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 17, 200128. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200128>
- Urain, I., Eguren, J. A., & Justel, D. (2022). Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133318>
- Vermeulen, I., Van Caneghem, J., Block, C., Baeyens, J., & Vandecasteele, C. (2011). Automotive shredder residue (ASR): Reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1), 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.088>

- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* (Vol. 48). <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>
- Xia, X., Li, J., Tian, H., Zhou, Z., Li, H., Tian, G., & Chu, J. (2016). The construction and cost-benefit analysis of end-of-life vehicle disassembly plant: A typical case in China. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(8), 2663–2675. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1185-0>
- Yan, H., Liu, Y., & Kaliyaperumal, K. (2024). Intelligent location-routing for sustainable reverse supply chain of end-of-life vehicles considering awareness cost and carbon penalty. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.10.011>
- Zamudio-Ramírez, P. (1996). *Economics of automobile recycling* [Thesis, Massachusetts Institute of Technology]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/10976>