

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale
percorso Supply Chain Design



**Politecnico
di Torino**

Tesi di Laurea Magistrale

**L'evoluzione della filiera delle batterie per
veicoli elettrici. Impatto normativo e analisi
dei flussi logistici per il riciclo a fine vita.**

Relatore

prof. Carlo RAFELE

Candidato

Filippo MASCI

Anno Accademico 2024-2025

Sommario

La Regolamentazione Europea 2023/1542 ha modificato radicalmente il panorama normativo Europeo e nazionale relativo alle batterie per veicoli elettrici, andando a dettare le regole per la corretta gestione del fine vita. Il capo VIII del regolamento sancisce il principio della Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), che impone al produttore, o all'organizzazione per l'adempimento dell'EPR, di finanziare le fasi di trasporto, disassemblaggio, pretrattamento e trattamento chimico delle batterie esauste, al fine di recuperare materiali critici quali nichel, litio, cobalto, manganese. L'attuale filiera nazionale per la gestione delle batterie a fine vita è caratterizzata da una rete di attori interconnessi che operano su più livelli decisionali e operativi. Il flusso fisico di batterie si origina dagli autodemolitori, incaricati di effettuare la preselezione e la scarica, per poi proseguire verso i centri di pretrattamento e successivamente di trattamento chimico. Queste fasi avvengono sotto l'attenta organizzazione da parte dei consorzi dedicati. Il flusso economico invece segue un percorso inverso: l'utente finale versa al produttore il contributo ambientale al momento dell'acquisto del veicolo e questo ammontare viene poi trasferito ai consorzi per l'EPR, che finanziano e gestiscono tutte le operazioni collegate al fine vita. Un possibile scenario evolutivo prevede l'inversione del flusso economico con una remunerazione che i centri di riciclo versano ai consorzi, e quindi ai produttori, per assicurarsi volumi di batterie da poter trattare. Attualmente in Italia è operativo un solo impianto di pretrattamento, situato a Sale in Piemonte, dove confluiscono tutti i flussi di batterie esauste. L'analisi dei volumi di batterie di ritorno previsti nel prossimo decennio, incrociata con la capacità infrastrutturale della rete logistica nazionale ha permesso di identificare possibili scenari futuri migliorativi, come l'apertura di un nuovo impianto di pretrattamento e l'inserimento di due centri di stoccaggio intermedi.

Indice

Elenco delle figure	5
Elenco delle tabelle	7
Introduzione	9
1 Definizione del quadro normativo	13
1.1 Storia e obiettivi del nuovo regolamento	13
1.2 Il regolamento	15
1.2.1 Dall'implementazione all'approvazione	16
1.2.2 Contenuti e Struttura	16
1.3 Studio e interpretazione dei capi di interesse	19
1.3.1 Capo I: Disposizioni Generali	19
1.3.2 Capo II: Requisiti in materia di sostenibilità e sicurezza	22
1.3.3 Capo III: Requisiti per l'etichettatura, la marcatura e le informazioni	25
1.3.4 Capo IV: Conformità delle batterie & Capo V: Notifica degli organismi di valutazione della conformità	27
1.3.5 Capo VI: Obblighi operatori economici diversi da quelli di cui ai capi VII e VIII	29
1.3.6 Capo VII: Obblighi degli operatori economici in materia di strategie relative al dovere di diligenza per le batterie	32

1.3.7	Capo VIII: Gestione dei rifiuti di batterie	35
1.3.8	Capo IX: Passaporto digitale della batteria	41
2	La Filiera Circolare delle Batterie: Ciclo di Vita, Attori e Prospettive future	45
2.1	Le batterie a Ioni di Litio	46
2.1.1	Struttura di costo	48
2.1.2	State Of Health & State of Charge come driver di Gestione .	49
2.2	Gli attori della filiera	51
2.2.1	Definizione degli attori secondo la normativa (Art. 3)	51
2.2.2	Maggiori player in Italia	53
2.2.3	Extended Producer Responsibility: benefici e criticità	55
2.3	La catena del valore di una batteria	57
2.3.1	Modello di Porter applicato al fine vita delle batterie	58
2.3.2	Flussi operativi ed economici	64
2.3.3	Adeguamento normativo come fattore di successo nella gestione del fine vita	70
2.4	Il Flusso Informativo	73
2.4.1	Modalità di comunicazione dei dati	73
2.4.2	Il passaporto digitale	74
3	Analisi dell’Infrastruttura Logistica Attuale per il Riciclo delle Batterie	77
3.1	Le fasi del riciclo	78
3.1.1	Preselezione e Scarica	78
3.1.2	Disassemblaggio e Pretrattamento	79
3.1.3	Trattamento chimico	80
3.2	Raccolta e rappresentazione dei dati	83
3.2.1	Calcolo dei volumi di ritorno	84

3.2.2	Rete di Autodemolitori e Impianti	87
3.2.3	Costi di trasporto	89
3.3	Scenario Attuale	91
4	Scenari Futuri e Relative Implicazioni	97
4.1	Scenario 1: Centro di Pretrattamento a Pollutri	98
4.2	Scenario 2: Apertura di due centri di raccolta per lo stoccaggio intermedio	102
4.2.1	Modello di calcolo e logica applicativa	106
4.2.2	Fattibilità tecnica e autorizzativa	110
4.2.3	Fattibilità relazionale e inserimento nella rete esistente	112
4.3	Considerazioni finali e sviluppi futuri	113
	Conclusione	119
	Risultati principali	119
	Limiti di analisi	121
	Sviluppi futuri	122
A	Rapporti di Massa	131
B	volumi di ritorno divisi per regione	133
C	Totale chilometri nelle 3 configurazioni	135

Elenco delle figure

1	Waste Framework, Fonte: Commissione Europea	10
1.1	Percorso normativo dall'approvazione all'implementazione	16
1.2	Simbolo Raccolta Differenziata	26
1.3	Dichiarazione di conformità	29
1.4	Categorie di rischio	34
1.5	Obiettivi Efficienza e Riciclaggio	40
1.6	Obiettivi di recupero dei materiali	40
2.1	Filiera circolare	46
2.2	Produttori Batterie, fonte: SNE Research 2024	47
2.3	Costo di produzione, fonte: Haiki-Cobat 2024, Avicenne Energy	48
2.4	Composizione prezzo medio di vendita, fonte: Haiki-Cobat 2024	49
2.5	Catena del valore	60
2.6	Flusso fisico e flusso economico	68
3.1	Volumi di ritorno batterie Li-Ion	86
3.2	Volumi di Ritorno batterie Li-Ion per Macroarea	87
3.3	Autodemolitori	89
3.4	Impianti	89
3.5	Correlazione tra Distanza Percorsa e Tempo di Percorrenza	92
3.6	Scenario As Is	93

3.7	Volumi di ritorno e capacità di trattamento con 1 impianto	96
4.1	Scenario 1 - Due centri di pretrattamento	99
4.2	Confronto Scenario Attuale - Scenario 1	100
4.3	Volumi di ritorno e capacità di trattamento con 2 impianti	101
4.4	Scenario 2 - Due centri di stoccaggio intermedio	104
4.5	Confronto Scenario Attuale - Scenario 1 - Scenario 2	105
4.6	Relazione Costo per tonnellata e Numero di impianti	117
4.7	Relazione Costo per tonnellata e Numero Centri di Raccolta	117
A.1	Rapporti di massa cella litio prismatica	131
A.2	Informazioni Rapporti di massa	132
B.1	Volumi di ritorno divisi anno e regione	133
C.1	Chilometri Scenario 1-2-3	135

Elenco delle tabelle

1.1	Capi del Regolamento	17
1.2	Allegati del Regolamento	18
1.3	Soglie minime di contenuto riciclato per i materiali critici.	23
2.1	Maggiori attori in Italia	54
2.2	ADR	63
2.3	Volumi Europei, Fonte: Avicenne Energy	71
3.1	Confronto tra idrometallurgia e pirometallurgia	82
3.2	Dati di immatricolazione dal 2013 al 2024. Fonte: UNRAE	85
3.3	Batterie (tonnellate) immesse dal 2014 al 2024.	85
3.4	Distribuzione degli autodemolitori in Italia - Progetto Cyclus	88
3.5	Costi minimi e massimi per chilometro	90
4.1	Confronto tra Scenario 1 e Scenario 2 con suddivisione tra trasporto, stoccaggio e costo totale	110
4.2	Dati empirici della relazione tra numero di impianti e costo per tonnellata	116
4.3	Dati empirici della relazione tra numero di centri di raccolta e costo per tonnellata	116

Introduzione

Negli ultimi anni la Commissione europea ha avviato pratiche di rinnovamento del quadro normativo esistente, focalizzandosi su temi di sostenibilità e circolarità. Il settore delle batterie, e in particolare la gestione del fine vita, è stato oggetto di un rinnovamento legislativo tramite la pubblicazione del regolamento 2023/1542¹, che ha sostituito la direttiva 2006/66/CE². Tale politica di rinnovamento si inserisce in un contesto più ampio definito dalla Normativa dell'Unione europea sulla gestione dei rifiuti 2008/98 e dal Green Deal europeo del 2019, delineando una strategia che si adatta specificatamente alle batterie, migliorando la sostenibilità dell'intero ciclo di vita.

Prima dell'entrata in vigore del nuovo regolamento, il fine vita era quindi regolato dalla Direttiva 2006/66/CE che delineava le pratiche per la corretta gestione e il riciclo dei rifiuti di batterie ma, a differenza di un regolamento, lasciava libertà ai paesi membri per la definizione delle pratiche su come conseguire tali obiettivi. Tuttavia, tale direttiva, ha mostrato i propri limiti nel contesto di applicazione per le batterie agli ioni di litio, in particolare quelle impiegate nei veicoli elettrici. Le definizioni del 2006, infatti, non includevano una classe specifica per le batterie destinate alla trazione dei veicoli, ma si limitavano a definire quelle utilizzate per l'avviamento, l'illuminazione o l'accensione. Parallelamente, il Green Deal europeo

¹European Parliament and Council 2023.

²European Parliament and Council 2006a.

ha sancito l'obiettivo di neutralità climatica entro il 2050, promuovendo un'economia circolare basata sulla riduzione dell'impatto ambientale dei prodotti e su un uso più efficiente delle risorse.

Tali obiettivi sono raggiungibili attraverso lo sviluppo filiera integrata e trasparente tra tutti gli attori. Il carattere collaborativo è tipico di una supply chain solida che crea valore lungo tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto. Per supply chain si intende la gestione delle relazioni e dei flussi tra le catene delle operations e dei processi che produce valore in forma di prodotti e di servizi. È un processo completo che attraversa i confini tra le attività di business e i processi. Nel caso dello studio del fine vita delle batterie, in particolare, il focus si sposta sulle ultime fasi di vita di un prodotto, ovvero ciò che avviene dopo la produzione e l'utilizzo da parte dell'utente finale. A livello operativo, si parla di logistica inversa che costituisce l'infrastruttura necessaria affinché il ciclo di vita di un prodotto a fine vita possa chiudersi e i materiali critici recuperati possano essere reintrodotti nel ciclo produttivo.



Figura 1: Waste Framework, Fonte: Commissione Europea

Un quadro teorico per spiegare il posizionamento del riciclo in relazione ad ulteriori possibilità di smaltimento è la Waste Management Hierarchy, una piramide gerarchica che classifica le diverse strategie di gestione dei rifiuti, in base alla loro

sostenibilità³. Tale schema, come illustrato in figura 1, è basato su un ordine di priorità che va dalla prevenzione, al riutilizzo, riciclo, recupero energetico e infine allo smaltimento, e costituisce una guida su come strutturare una filiera circolare. Vedremo come il regolamento struttura e definisce gli scenari di riciclo e riutilizzo e di come il contesto nazionale si è adattato per rispondere a tali esigenze.

Questo lavoro analizza inoltre l'impatto della nuova normativa sulla filiera delle batterie delle vetture elettriche a fine vita e il modo in cui specifici progetti in corso ne trasformeranno la logistica, evidenziando i miglioramenti introdotti dalle nuove configurazioni.

³European Commission 2024.

Capitolo 1

Definizione del quadro normativo

In questa sezione verrà analizzato nel dettaglio il Regolamento (UE) 2023/1542¹ relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie. Verranno analizzati i primi nove capi e i relativi Allegati al fine di fornire una panoramica generale sulle innovazioni e le criticità che tale documento ha portato.

1.1 Storia e obiettivi del nuovo regolamento

Le batterie rappresentano una fonte energetica fondamentale e un asset altamente strategico per lo sviluppo sostenibile, la mobilità verde e l'energia pulita. Nei prossimi anni, il mercato delle batterie sarà caratterizzato da una rapida crescita, dovuta anche all'espansione significativa del settore dei veicoli elettrici, come i mezzi di trasporto leggeri e i veicoli per il trasporto merci su strada.

Per sostenere questa crescita e garantire che il mercato delle batterie rimanga competitivo, sostenibile e sicuro, saranno indispensabili progressi tecnologici e scientifici, accompagnati da regole e normative che offrano stabilità e siano eque per tutti gli attori della filiera. È quindi essenziale un quadro normativo europeo

¹European Parliament and Council 2023.

che assicuri trasparenza sia per gli utenti sia per gli operatori economici, coprendo l'intero ciclo di vita delle batterie.

In merito alla gestione dei rifiuti di batterie, sarà necessario un aggiornamento che miri a salvaguardare l'ambiente e la salute umana. In questo contesto, è fondamentale prevenire e ridurre gli effetti negativi derivanti dalla produzione e dalla gestione dei rifiuti, cercando, ove possibile, soluzioni alternative allo smaltimento. Queste soluzioni dovrebbero inserirsi in una logica di economia circolare. Operazioni come il riciclo e il riutilizzo delle batterie esauste possono generare valore aggiunto, rafforzando l'interazione tra economia circolare e quadro normativo.

Il nuovo regolamento europeo modifica la direttiva 2008/98/CE² e il regolamento UE 2019/1020³, abrogando, inoltre, la direttiva 2006/66/CE⁴. Si nota come l'impegno europeo in tema di rifiuti di batterie sia costante da quasi due decenni. Quello che in passato era una direttiva europea, applicabile con margini di flessibilità dai paesi membri, si è trasformato nel 2023 in una regolamentazione vincolante, che obbliga i paesi membri a raggiungere obiettivi specifici, rispettando criteri e vincoli imposti dall'Unione Europea.

La Direttiva 2006/66/CE⁵ del Parlamento Europeo e del Consiglio, relativa a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori, abrogava a sua volta la direttiva 91/157/CEE⁶. Lo scopo principale della direttiva era ridurre l'impatto ambientale negativo mediante pratiche come il riciclaggio e la raccolta differenziata, introducendo norme specifiche per il trattamento, lo smaltimento e l'immissione sul mercato delle batterie. Inoltre, vietava l'uso di materiali come cadmio e mercurio in determinati tipi di pile, affrontava il tema dell'etichettatura e promuoveva misure

²European Parliament and Council 2008.

³European Parliament and Council 2019.

⁴European Parliament and Council 2006a.

⁵European Parliament and Council 2006a.

⁶Council of the European Communities 1991.

di finanziamento per la raccolta, il riciclaggio e lo sviluppo di nuove tecnologie.

Il passaggio alla regolamentazione del 2023 ha segnato un momento di svolta per il settore. Le principali novità riguardano l'introduzione di requisiti più stringenti per la progettazione, la raccolta e il riciclo delle batterie. L'attenzione all'intero ciclo di vita delle batterie pone al centro i temi dell'economia circolare e della neutralità climatica. Per rimanere competitiva, l'industria europea dovrà raggiungere livelli di riciclo tali da ridurre significativamente la dipendenza dalle importazioni di materiali critici, garantendo una maggiore stabilità dell'intera filiera.

Il regolamento UE 2019/1020, relativo alla conformità dei prodotti immessi sul mercato dei paesi membri e al successivo monitoraggio, e la normativa 2008/98/CE sui rifiuti, vengono modificati in linea con una migliore gestione e una maggiore attenzione al riciclo delle batterie. A tale scopo, vengono introdotte due categorie specifiche di batterie: le batterie per Mezzi di Trasporto Leggeri (LMT) e le batterie per veicoli elettrici (EV).

1.2 Il regolamento

Il lavoro della Commissione europea al nuovo regolamento pone le sue basi nella pubblicazione del green deal europeo⁷ che segna come obiettivo per la neutralità climatica il 2050. I temi centrali del green deal come una produzione sostenibile, la riduzione della dipendenza dalle importazioni di materie prime, l'obiettivo di zero emissioni e il concetto cardine di economia circolare sono temi altamente presenti e conseguentemente elaborati nel regolamento del 2023 per il settore specifico delle batterie.

⁷European Commission 2019.

1.2.1 Dall'implementazione all'approvazione

Il regolamento, dopo essere stato votato dal parlamento, nel luglio del 2023 viene formalmente approvato dal Consiglio dei ministri e ad agosto 2023 vede la pubblicazione in gazzetta ufficiale UE e l'entrata in vigore 20 giorni dopo. Il regolamento si applica a partire da febbraio 2024, ovvero una volta trascorsi 6 mesi. (figura 1.1). È poi previsto che l'applicazione di specifici capi, articoli e commi sia ulteriormente posticipata per un intervallo di tempo che va dal 2024 al 2037.



Figura 1.1: Percorso normativo dall'approvazione all'implementazione

1.2.2 Contenuti e Struttura

Il regolamento si presenta come un testo diviso in più sezioni. La prima riguarda la definizione del contesto di riferimento e si articolano attraverso 143 paragrafi. Successivamente trova spazio la regolamentazione, suddivisa in 14 capi (tabella 1.1), 15 allegati (tabella 1.2) e fino a 25 atti delegati:

L'analisi prenderà in considerazione i primi nove capi, con particolare attenzione al numero 8 e al numero 9, riferiti rispettivamente al concetto di responsabilità estesa del produttore e alla descrizione del nuovo passaporto digitale per le batterie. Tali strumenti risultano centrali per lo studio e lo sviluppo di una filiera specifica

CAPO	Titolo
Capo I	Disposizioni generali
Capo II	Requisiti in materia di sostenibilità e sicurezza
Capo III	Requisiti in materia di etichettatura, marcatura e informazioni
Capo IV	Conformità delle batterie
Capo V	Notifica degli organismi di valutazione della conformità
Capo VI	Obblighi operatori economici diversi da quelli di cui ai capi VII e VIII
Capo VII	Obblighi degli operatori economici in materia di strategie relative al dovere di diligenza per le batterie
Capo VIII	Gestione dei rifiuti di batterie
Capo IX	Passaporto digitale della batteria
Capo X	Vigilanza del mercato dell'Unione e procedure di salvaguardia dell'Unione
Capo XI	Appalti pubblici verdi e procedura di modifica delle restrizioni relative alle sostanze
Capo XII	Delega di potere e procedura di comitato
Capo XIII	Modifiche
Capo XIV	Disposizioni finali

Tabella 1.1: Capi del Regolamento

per le batterie esauste, integrata tra produttori, consorzi, raccoglitori e impianti di trattamento.

L'integrazione degli allegati all'interno dell'analisi risulta necessaria per il completamento del quadro normativo delineato dai 14 capi. Questa integrazione avrà il duplice scopo di:

1. **Definire standard minimi:** I parametri e i requisiti stabiliti garantiranno un livello uniforme di conformità, eliminando potenziali discrepanze tra i diversi approcci nazionali.

Allegato	Titolo
All. I	Restrizioni sulle sostanze
All. II	Impronta di carbonio
All. III	Parametri di prestazioni elettrochimiche e durabilità delle batterie portatili di uso generale
All. IV	Requisiti per le prestazioni elettrochimiche e la durabilità delle batterie per mezzi di trasporto leggeri, delle batterie industriali con capacità superiore a 2 kWh e delle batterie per veicoli elettrici
All. V	Parametri di sicurezza
All. VI	Requisiti in materia di etichettatura, marcatura e informazione
All. VII	Parametri per la determinazione dello stato di salute e della durata di vita prevista delle batterie
All. VIII	Procedure di valutazione della conformità
All. IX	Dichiarazione di conformità UE
All. X	Elenco delle materie prime e delle categorie di rischio
All. XI	Calcolo dei tassi di raccolta per rifiuti di batterie portatili e rifiuti di batterie per mezzi di trasporto leggeri
All. XII	Requisiti in materia di stoccaggio e trattamento, compreso il riciclaggio
All. XIII	Informazioni da includere nel passaporto della batteria
All. XIV	Requisiti minimi per la spedizione di batterie usate
All. XV	Tavola di concordanza

Tabella 1.2: Allegati del Regolamento

2. **Stabilire procedure uniformi:** L'adozione di procedure condivise permetterà di ottimizzare i processi, ridurre le ambiguità interpretative e favorire una cooperazione più efficace tra gli Stati membri.

In tal modo, il regolamento diventerà uno strumento pratico in grado di garantire un'applicazione equa e uniforme nei diversi contesti nazionali.

1.3 Studio e interpretazione dei capi di interesse

In questa sezione verranno analizzati i singoli capi del regolamento, ne verranno evidenziate le caratteristiche e le criticità, cercando di valutare i possibili impatti futuri che si avranno sulla filiera delle batterie dei veicoli EV a fine vita. Per comprendere la filiera delle batterie esauste risulta fondamentale analizzare anche i capi che regolamentano le procedure amministrative, le allocazioni delle responsabilità e gli attori coinvolti nella prima fase di vita delle batterie.

1.3.1 Capo I: Disposizioni Generali

Il capo I, presentato in 5 articoli, fornisce gli strumenti essenziali per la comprensione del regolamento stesso. Si delineano a livello generale l'oggetto e l'ambito di applicazione del regolamento introducendo temi come sostenibilità, etichettatura, marcatura, informazione e libera circolazione, per i quali verranno definiti i requisiti. Fa riferimento al concetto di responsabilità estesa del produttore e ai requisiti che dovranno essere rispettati.

Nell'articolo 2, la Commissione europea chiarisce l'obiettivo fondamentale di tale regolamento, ovvero, come scritto testualmente, “contribuire al funzionamento efficiente del mercato interno, prevenendo e riducendo nel contempo gli effetti negativi delle batterie sull'ambiente, nonché proteggere l'ambiente e la salute umana prevenendo e riducendo gli effetti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti di batterie”⁸.

Trova poi spazio nell'articolo 3 l'elenco di oltre 60 definizioni utili alla comprensione del regolamento. Vengono date spiegazioni puntuali di:

- **Batteria:** Dispositivo che fornisce energia elettrica attraverso una trasformazione chimica, sia di tipo ricaricabile che non ricaricabile.

⁸Art. 2; European Parliament and Council 2023.

- **Pacco batteria e modulo batteria:** Gruppi di celle di batteria interconnesse progettati per essere utilizzati come unità complete o in combinazione.
- **Batterie portatili, per trasporto leggero e per veicoli elettrici:** Definizioni che specificano i tipi di batterie in base all'uso previsto, al peso e alla categoria del veicolo.
- **Batterie ricaricabili e non ricaricabili:** Batterie progettate per usi multipli attraverso la ricarica o destinate a un unico uso.
- **Immissione sul mercato e messa in servizio:** Definizioni che regolano la prima introduzione delle batterie nel mercato dell'UE e il loro primo utilizzo.
- **Rimessa in servizio e rigenerazione:** Processi che prevedono la preparazione delle batterie per nuovi scopi o il ripristino delle loro prestazioni.
- **Operazione di riciclo:** Processi che prevedono la preparazione al riciclo e il riciclaggio delle batterie, ad opera del riciclatore e in strutture autorizzate.

Il passaggio dalla Direttiva 2006/66/CE al Regolamento (UE) 2023/1542 ha introdotto significativi aggiornamenti, tra cui l'inserimento di nuove categorie di batterie specificamente destinate a soddisfare le esigenze della mobilità elettrica. Tra le principali innovazioni, il Regolamento del 2023 ha incluso le categorie delle batterie per veicoli elettrici (EV) e delle batterie per trasporti leggeri (LMT), riflettendo l'evoluzione tecnologica e le richieste del mercato che non erano state affrontate in modo adeguato nella direttiva precedente.

Nella direttiva del 2006, la classificazione delle batterie era più generica e comprendeva principalmente le pile a bottone, le batterie per veicoli, intese come batterie di avviamento di veicoli tradizionali con motore a combustione, e le batterie industriali. Non esisteva una distinzione specifica per le batterie utilizzate nei veicoli elettrici, che generalmente rientravano nella categoria delle batterie industriali.

Questo approccio era limitato e non rifletteva le esigenze emergenti del crescente settore della mobilità elettrica.

Il Regolamento (UE) 2023/1542 introduce invece nuove categorie specifiche per i veicoli elettrici e il trasporto leggero. Le batterie per veicoli elettrici sono definite come "specificamente progettate per fornire energia elettrica per la propulsione di veicoli ibridi o elettrici delle categorie L, M, N o O"⁹. Questo riconoscimento formale evidenzia il ruolo critico dei veicoli elettrici nella transizione energetica, sottolineando la crescente importanza dei veicoli a emissioni zero e la necessità di una regolamentazione mirata.

Un'altra importante aggiunta nel Regolamento 2023 è la categoria delle batterie leggere per il trasporto (LMT), definite come "batterie sigillate con un peso fino a 25 kg, progettate per fornire energia elettrica per la propulsione di veicoli come biciclette e scooter elettrici"¹⁰. Questa nuova categoria risponde al crescente utilizzo di veicoli leggeri per la mobilità urbana sostenibile, un settore in rapida crescita che era completamente assente nella Direttiva del 2006.

Queste modifiche riflettono l'intento della nuova normativa di adattarsi ai progressi tecnologici e di sostenere una mobilità più sostenibile e pulita. La distinzione dettagliata delle batterie per veicoli elettrici e per trasporti leggeri non solo supporta la regolamentazione delle nuove tecnologie, ma incoraggia anche l'adozione di pratiche più rispettose dell'ambiente, contribuendo agli obiettivi del Green Deal europeo per una transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

⁹**articolo 3; punto 14;** European Parliament and Council 2023.

¹⁰**articolo 3; punto 11;** European Parliament and Council 2023.

1.3.2 Capo II: Requisiti in materia di sostenibilità e sicurezza

Attraverso il capo II (articoli da 6 a 12), il regolamento si propone di definire in maniera dettagliata standard tali da garantire sicurezza e sostenibilità lungo l'intero ciclo di vita delle batterie. Dalla produzione al fine vita si cerca di garantire efficienza energetica e maggiore trasparenza verso i consumatori. Gli articoli del capo II pongono l'accento rispettivamente sulle restrizioni relative alle sostanze pericolose e stabiliscono importanti obiettivi di sostenibilità disciplinando il riciclo e la durabilità delle batterie. A tal proposito, l'allegato I completa l'art. 6 e inserisce il mercurio, il piombo e il cadmio all'interno della categoria delle sostanze su cui applicare una restrizione, oltre a quelle già presenti nell'allegato XVII del regolamento (CE) n. 1907/2006¹¹ e all'articolo 4, paragrafo 2, lettera a), della direttiva 2000/53/CE¹².

L'articolo 7 invece si concentra sulla gestione dell'impronta di carbonio delle batterie per tre principali categorie: batterie per veicoli elettrici, batterie industriali ricaricabili con capacità superiore a 2 kWh, e batterie per mezzi di trasporto leggeri.

Per ciascuna batteria appartenente alle categorie indicate, il regolamento prevede che venga redatta una dichiarazione dell'impronta di carbonio. L'introduzione di tale documento sarà graduale, a partire dal 2025 fino al 2030 a seconda delle diverse categorie di batterie. Fino a quando non sarà disponibile l'applicazione di un QR code contenente tali informazioni, il documento dovrà accompagnare fisicamente la batteria. Ulteriori specifiche riguardano l'aggiunta di una classe di prestazione relativa all'impronta di carbonio, che guiderà il consumatore nella scelta di prodotti più sostenibili e dalla specificazione di una soglia massima che dovrà essere rispettata affinché la batteria possa essere immessa sul mercato.

¹¹allegato XVII; European Parliament and Council 2006b.

¹²articolo 4; paragrafo 2; lettera a; European Parliament and Council 2000.

L'articolo 8 affronta il tema del contenuto riciclato nelle batterie, evidenziando come questo sia necessario per raggiungere l'indipendenza auspicata dalle materie prime vergini di cui l'Europa è povera, in un'ottica di economia circolare. I materiali in questione sono il Cobalto, il Piombo, il Litio e il Nichel e a partire dal 2028 le batterie dovranno essere accompagnate da un documento che attesti la percentuale di tali elementi provenienti da operazioni di riciclo.

A partire dal 2031, per regolamentare il contenuto di materiale riciclato, verranno imposte delle soglie minime, con percentuali crescenti, come mostrato in tabella 1.3:

Materiale	2031	2036
Cobalto	16%	26%
Piombo	85%	85%
Litio	6%	12%
Nichel	6%	15%

Tabella 1.3: Soglie minime di contenuto riciclato per i materiali critici.

La Commissione si riserva la possibilità di modificare tali percentuali entro il 2029, in base alla disponibilità dei materiali riciclati e ai progressi tecnologici. Qualora il mercato o le tecnologie richiedessero l'inclusione di nuovi materiali, potranno essere definiti ulteriori obiettivi minimi per incentivare il riciclo anche di altre sostanze utilizzate nelle batterie.

L'articolo 10 definisce i requisiti di prestazione e durabilità delle batterie, in particolare di quelle per mezzi di trasporto leggeri e delle batterie per veicoli elettrici. Dal 2024 queste batterie dovranno includere la documentazione contenente i valori di prestazione elettrochimica e durabilità¹³ e le specifiche tecniche, le norme

¹³ **Allegato IV; parte A**; European Parliament and Council 2023.

e le condizioni utilizzate per le misurazioni¹⁴. La commissione durante il biennio 2026-2027, stabilirà i valori minimi dei parametri di prestazione, che diventeranno poi obbligatori rispettivamente dal 2027 per le batterie industriali e dal 2028 per le batterie di mezzi di trasporto leggeri. Questi requisiti sono necessari affinché si riesca a prolungare la vita utile delle batterie, senza comprometterne la funzionalità e riducendo quindi l'impatto ambientale. La commissione potrà adottare atti delegati per aggiornare i parametri di prestazione in base ai progressi tecnologici, mantenendo costante l'allineamento con le normative globali.

Il regolamento fissa nell'articolo 11 i requisiti fondamentali per la rimovibilità e la sostituibilità delle batterie portatili e nell'articolo 12 quelli per la sicurezza dei sistemi fissi di stoccaggio dell'energia a batteria, promuovendo la sostenibilità e la sicurezza degli utenti.

L'articolo 11 specifica che i dispositivi con batterie portatili devono consentire una facile rimozione e sostituzione delle batterie da parte dell'utente finale. Ciò significa che, per tutta la durata di vita del prodotto, gli utenti devono essere in grado di rimuovere la batteria senza strumenti speciali, utilizzando solo quelli disponibili in commercio. L'obiettivo è quello di facilitare la manutenzione e ridurre l'impatto ambientale consentendo una semplice sostituzione della batteria, prolungando così la vita utile del dispositivo. Inoltre, per garantire che gli utenti siano in grado di gestire in modo sicuro la rimozione e la sostituzione della batteria, coloro che immettono sul mercato tali prodotti sono tenuti a fornire istruzioni dettagliate e informazioni sulla sicurezza, accessibili in modo permanente online. Tali istruzioni devono riguardare i passaggi per la rimozione, la sostituzione e l'uso sicuro della batteria.

L'articolo 12 si concentra sui requisiti di sicurezza dei sistemi fissi di stoccaggio dell'energia a batteria. A partire dal 2024, chi immette sul mercato questi sistemi

¹⁴ **Allegato VIII**; European Parliament and Council 2023.

deve garantire che siano sicuri nelle normali condizioni di funzionamento. Tale provvedimento comporta l'inclusione nella documentazione tecnica:

- Prove di test avanzati che dimostrino la conformità ai parametri di sicurezza indicati nell'Allegato V del regolamento¹⁵.
- Una valutazione di tutti i rischi per la sicurezza non contemplati nell'allegato, con dettagli sulle misure di mitigazione e istruzioni specifiche per le situazioni di emergenza, come incendi o esplosioni.

Se una batteria viene riutilizzata o riconvertita, questa documentazione deve essere rivista e aggiornata per riflettere le nuove condizioni d'uso.

Gli articoli 11 e 12 mirano a garantire che le batterie siano sicure, facilmente sostituibili e gestibili dagli utenti, promuovendo al contempo pratiche sostenibili e prolungando la durata di vita dei dispositivi.

1.3.3 Capo III: Requisiti per l'etichettatura, la marcatura e le informazioni

Il Capo III del regolamento delinea i requisiti per l'etichettatura, la marcatura e le informazioni per garantire che le batterie siano facilmente identificabili e gestibili durante il loro ciclo di vita.

L'articolo 13 specifica che:

- a partire dal 18 agosto 2026, tutte le batterie devono essere etichettate con informazioni generali¹⁶.

¹⁵European Parliament and Council 2023.

¹⁶**Allegato VI; Parte A** ; European Parliament and Council 2023.

- a partire dal 18 agosto 2025, ogni batteria dovrà riportare un simbolo indicante la raccolta differenziata (Figura 1.2) e le batterie contenenti livelli significativi di cadmio o piombo dovranno indicare questi metalli con i rispettivi simboli chimici (Cd, Pb).



Figura 1.2: Simbolo Raccolta Differenziata

Per le batterie portatili ricaricabili, le batterie per mezzi di trasporto leggeri e le batterie per autoveicoli, l’etichetta deve includere informazioni sulla capacità della batteria, mentre le batterie portatili non ricaricabili devono indicare la loro durata media minima e includere l’etichetta “non ricaricabile”. Inoltre, a partire dal 18 febbraio 2027, tutte le batterie dovranno essere contrassegnate da un codice QR: per le batterie dei mezzi di trasporto leggeri, per le batterie industriali con capacità superiore a 2 kWh e per le batterie dei veicoli elettrici, il codice QR consentirà di accedere al passaporto della batteria; per le altre batterie, collegherà alle informazioni sulla conformità e sulla gestione dei rifiuti.

L’articolo 14 prevede che, a partire dal 18 agosto 2024, le informazioni sullo stato di salute e sulla durata di vita prevista delle batterie utilizzate nei sistemi fissi di accumulo dell’energia, nei mezzi di trasporto leggeri e nei veicoli elettrici dovranno essere contenute nel sistema di gestione delle batterie. Questi dati devono essere

accessibili in sola lettura ai proprietari delle batterie, agli operatori indipendenti e ai gestori dei rifiuti per facilitare la valutazione dello stato delle batterie e il loro potenziale riutilizzo o riciclaggio. Nel caso venga effettuata la preparazione per il riutilizzo o per il cambio di destinazione, è possibile ripristinare il software di gestione, caricandone uno diverso. Il produttore originario della batteria non sarà responsabile di eventuali violazioni. Nell'allegato VII del regolamento¹⁷ viene introdotto il parametro utilizzato per la determinazione dello stato di salute delle batterie per veicoli elettrici, ovvero:

- lo stato dell'energia certificata (State of Certified Energy - SOCE¹⁸).

1.3.4 Capo IV: Conformità delle batterie & Capo V: Notifica degli organismi di valutazione della conformità

Il tema centrale dei capi IV e V è rispettivamente la conformità delle batterie e la regolamentazione degli enti preposti a valutare l'aderenza a precise specifiche, tali da garantire la conformità. Questi due capi delineano il quadro normativo necessario a garantire che siano rispettati determinati standard di sicurezza e sostenibilità per le batterie immesse sul mercato.

All'interno del Capo IV viene specificato che una batteria, per risultare conforme, dovrà rispettare alcuni requisiti essenziali. In particolare, l'articolo 15 precisa al paragrafo 1 che le verifiche di conformità devono basarsi su “metodi affidabili, accurati e riproducibili”¹⁹, così da garantire risultati di “bassa incertezza”²⁰. In altre parole, la conformità si raggiunge utilizzando standard metodologici che permettono di riprodurre condizioni di utilizzo reali.

¹⁷European Parliament and Council 2023.

¹⁸European Parliament and Council 2023.

¹⁹European Parliament and Council 2023.

²⁰European Parliament and Council 2023.

Inoltre, l'articolo 15 specifica che la conformità può essere dimostrata anche tramite standard tecnici pubblicati sulla gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, che prendono il nome di norme armonizzate (Art. 15, paragrafo 3)²¹. Tali norme, se rispettate, garantiscono la presunzione di conformità, ma se invece dovesse capitare che non risultano sufficienti, allora la commissione potrà stabilire delle “specifiche comuni”²² per garantire che i requisiti vengano in ogni caso soddisfatti. Questo è un meccanismo necessario a colmare eventuali vuoti normativi e a rispondere velocemente ai cambiamenti tecnologici.

L'effettiva valutazione di conformità avviene attraverso due distinte procedure, descritte nell'articolo 17, a seconda che le batterie siano prodotte in serie o meno. Una volta completata la valutazione, il produttore deve redigere una dichiarazione di conformità UE²³, sul modello di quella presentata in figura 1.3.

Tale documento deve essere redatto in formato elettronico e tradotto in una lingua accettata dallo stato membro in cui la batteria è immessa sul mercato e rappresenta una garanzia per autorità e consumatori.

Il Capo V indica la procedura che gli stati membri dovranno seguire per notificare alla Commissione europea gli organismi di valutazione della conformità. Questi enti sono responsabili di verificare che le batterie rispettino gli standard di sicurezza e tutti i requisiti del regolamento.

È importante che gli organismi notificati siano entità indipendenti e che operino senza conflitti di interessi, garantendo valutazioni obiettive e imparziali. L'indipendenza e la competenza di questi organismi sarà certificata dal lavoro di un'autorità di notifica, anch'essa designata dagli stati membri. Sarà poi compito della Commissione europea garantire che la conformità degli organismi di notifica sia costantemente mantenuta, così da supportare una cooperazione tra stati membri,

²¹ **Art. 15; paragrafo 3;** European Parliament and Council 2023.

²² **Art.16; paragrafo 1;** European Parliament and Council 2023.

²³ **Art. 18;** European Parliament and Council 2023.

- DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ UE N.* ...
* (numero di identificazione della dichiarazione)
1. Modello di batteria (numero di prodotto, categoria e lotto o serie):
 2. Nome e indirizzo del fabbricante e, ove applicabile, del suo rappresentante autorizzato:
 3. La presente dichiarazione di conformità è rilasciata sotto la responsabilità esclusiva del fabbricante.
 4. Oggetto della dichiarazione (descrizione della batteria e identificazione che ne consenta la rintracciabilità e che, laddove opportuno, può includere un'immagine della batteria).
 5. L'oggetto della dichiarazione di cui al punto 4 è conforme alla pertinente normativa di armonizzazione dell'Unione: ... (riferimenti degli altri atti dell'Unione applicati).
 6. Riferimenti alle pertinenti norme armonizzate o specifiche comuni utilizzate o alle altre specifiche tecniche in relazione alle quali è dichiarata la conformità:
 7. L'organismo notificato ... (denominazione, indirizzo, numero) ... ha effettuato ... (descrizione dell'intervento) ... e rilasciato il/i certificato/i: ... (estremi, fra cui la data e, se del caso, informazioni circa la durata e le condizioni di validità del certificato).
 8. Informazioni supplementari:
Firmato a nome e per conto di:

(luogo e data del rilascio)

(nome e cognome, funzione) (firma)

Figura 1.3: Dichiarazione di conformità

autorità di notifica e organismi notificati.

1.3.5 Capo VI: Obblighi operatori economici diversi da quelli di cui ai capi VII e VIII

Questo capo discute in maniera esaustiva tutti gli obblighi degli operatori economici esclusi quelli relativi alla due diligence e al trattamento delle batterie a fine vita. La divisione più logica per facilitare la comprensione di questo capo vede l'analisi congiunta degli articoli a gruppi di tre:

- gli articoli 38,39 e 40 trattano gli obblighi dei fabbricanti, dei loro di fornitori

di elementi e moduli di batteria e dei rappresentanti autorizzati dei fabbricanti. I fabbricanti sono obbligati a garantire la conformità delle batterie lungo tutto il ciclo di vita, dunque dall'immissione fino alla gestione post-vendita. Gli obblighi principali includono il rispetto degli articoli da 6 a 10, 12,13,14 per quanto riguarda la progettazione, la presenza di documentazione tecnica valida, la valutazione della conformità e l'applicazione di un identificativo, o un equivalente, che garantisca la tracciabilità. Particolare attenzione va prestata agli obblighi relativi alla gestione dei rischi, per cui in caso di non conformità della batteria, presente o sopravvenuta, il fabbricante deve ritirare le batterie e avvisare immediatamente l'autorità di vigilanza, con cui è tenuto a collaborare. Gli obblighi dei fornitori invece sono più semplici e riguardano la condivisione di informazioni e di documentazione tecnica con il fornitore in maniera gratuita e il loro impegno nel collaborare con i fabbricanti affinché ogni componente fornito rispetti i requisiti normativi. I rappresentanti autorizzati invece agiscono per conto dei fabbricanti e si assumono determinate responsabilità stabilite nel contratto. I loro obblighi includono la conservazione della documentazione tecnica e della dichiarazione di conformità UE per dieci anni dalla data di immissione della batteria sul mercato, la gestione dei rischi, intesa come obbligo a informare l'autorità di vigilanza nel caso in cui le batterie dovessero presentare un rischio e la collaborazione continua con le autorità.

- Gli articoli 41,42 e 43 riguardano gli obblighi e i comportamenti che devono tenere gli attori appartenenti alla catena distributiva delle batterie, ovvero importatori, distributori e fornitori di servizi di logistica. Questi attori pur non appartenendo alla catena di produzione, rivestono un ruolo fondamentale affinché le batterie vengano immesse sul mercato nel rispetto della normativa e senza che queste rappresentino un rischio per utilizzatori e ambiente. Un

importatore si occupa di verificare che tutte le batterie da lui immesse sul mercato siano conformi alla normativa. L'importatore deve quindi accertarsi che sia presente la dichiarazione di conformità UE e la documentazione tecnica, che la batteria sia contrassegnata dalla marcatura CE e che sia accompagnata da tutti i documenti necessari, scritti in una lingua facilmente comprensibile per gli utilizzatori finali dello stato membro di destinazione. L'importatore deve fornire il proprio nome, la denominazione commerciale o il marchio registrato, l'indirizzo postale e, se esiste, il proprio sito web e l'indirizzo di posta elettronica. Tali informazioni devono essere indicate sulla batteria, ma se questo non sarà possibile dovranno essere indicate sull'imballaggio o in un documento allegato. La figura dell'importatore è anche responsabile delle condizioni di stoccaggio e trasporto e deve garantire che queste non influiscano sulla conformità delle batterie. Se dovesse ritenere che un prodotto presenta dei rischi potrà procedere con l'eseguire delle prove a campione o se lo riterrà necessario, ritirando o richiamando le batterie precedentemente immesse. Sarà loro obbligo informare il fabbricante e l'autorità di vigilanza, con la quale deve mantenere un atteggiamento cooperativo. Gli obblighi dei distributori sono speculari a quelli degli importatori per quanto riguarda le condizioni di stoccaggio e trasporto e il comportamento da tenere nel caso in cui un soggetto dovesse sospettare che un prodotto presenta uno o più rischi per la salute umana o l'ambiente. Il distributore dovrà inoltre verificare che il produttore sia registrato nel registro dei produttori e che la batteria presenti la marcatura CE. I fornitori dei servizi di logistica saranno tenuti a garantire un trasporto e uno stoccaggio tali che non influiscano sulla conformità della batteria. Ulteriori obblighi riguardano la cooperazione con l'autorità nazionale in seguito alla richiesta di documenti o se dovessero sospettare che una o più batterie presentino un rischio.

- Gli ultimi 3 articoli del capo VI, i numeri 44,45 e 46, analizzano ulteriori obblighi degli operatori economici, evidenziando situazioni specifiche. Di particolare interesse è l'articolo 45, riguardo gli obblighi per chi immette sul mercato batterie rigenerate. Nel dettaglio l'articolo 45 parla di batterie che sono state sottoposte alla preparazione per il riutilizzo, alla preparazione per il cambio destinazione, al cambio di destinazione ovvero alla rifabbricazione. Gli operatori economici che immettono sul mercato tali batterie devono garantire che tutte le operazioni relative alla sicurezza e alla verifica della qualità siano effettuate seguendo le istruzioni. Dovranno inoltre assicurarsi che la batteria sia conforme a tutti i requisiti del regolamento e dovranno fornire alle autorità la documentazione che certifica che la rigenerazione sia avvenuta conformemente.

1.3.6 Capo VII: Obblighi degli operatori economici in materia di strategie relative al dovere di diligenza per le batterie

Il capo VII affronta il tema della due diligence, ovvero il dovere di diligenza, per le batterie. L'ambito di applicazione prevede che i seguenti obblighi si applichino solo agli operatori economici, singoli o parte di un gruppo di imprese, con un fatturato di oltre 40 milioni di EUR. Sono invece esclusi gli operatori economici che immettono sul mercato batterie preparate per il riutilizzo o per il cambio destinazione.

A partire dal 18 agosto 2025, coloro che rispettano i requisiti descritti saranno obbligati a implementare strategie in tal senso. Gli operatori economici dovranno quindi comunicare la strategia ai fornitori e al pubblico, nei limiti di quanto espresso nel regolamento. Sarà poi necessaria la creazione di un sistema di gestione del rischio basato su un controllo della catena di approvvigionamento, la quale dovrà essere caratterizzata da elevata trasparenza lungo tutte le fasi, così da consentire

la tracciabilità delle materie prime.

La progettazione di tali strategie dovrà seguire le linee guida dell'OCSE e tutti i principi regolatori conosciuti a livello internazionale e sarà poi necessaria la verifica da parte di un organismo notificato che, se necessario, provvederà a identificare possibili miglioramenti. Gli operatori economici dovranno infatti provvedere affinché le loro strategie siano giudicate conformi alla normativa e siano sottoposte ad audit periodici.

La gestione del rischio spetta agli operatori economici, che dovranno identificare i rischi associati alle materie prime dall'estrazione e lungo tutta la filiera e adottare misure concrete per prevenire e mitigare eventuali effetti negativi. Il piano di gestione dei rischi si basa sull'individuazione e sulla valutazione degli effetti negativi, lungo la propria catena di approvvigionamento, associati alle materie prime e alle categorie di rischio presentate nell'allegato X del regolamento.

L'allegato X del regolamento²⁴ individua come materie prime:

- Cobalto
- Grafite naturale
- Litio
- Nichel
- Composti chimici a base delle materie prime elencate

Per quanto riguarda le categorie di rischio, queste sono principalmente suddivise in:

- Rischio sociale
- Rischio ambientale



Figura 1.4: Categorie di rischio

come rappresentato in figura 1.4.

Contestualmente, il regolamento promuove la trasparenza obbligando gli operatori economici a divulgare le informazioni. Su base annuale dovrà essere pubblicata e messa a disposizione del pubblico una relazione sulla strategia relativa al dovere di diligenza per le batterie, mentre su richiesta dovranno fornire alle autorità di vigilanza e ai propri acquirenti documenti riguardanti rispettivamente la conformità della batteria e le informazioni sull'intera filiera.

Tuttavia, emergono alcune criticità legate principalmente all'esclusione dei soggetti con un fatturato inferiore a 40 milioni. Questo vincolo rischia di lasciare fuori dall'analisi una importante parte della filiera. Inoltre, i costi di verifica potrebbero rappresentare un ostacolo in mancanza di un adeguato supporto operativo ed economico da parte della commissione.

L'efficacia di tale capo dipenderà dalla capacità di riuscire a bilanciare gli obblighi normativi con strumenti di supporto efficaci. Così facendo si otterranno risultati

²⁴European Parliament and Council 2023.

osservabili per l'ambiente e per la società.

1.3.7 Capo VIII: Gestione dei rifiuti di batterie

Il capo VIII del regolamento delinea un complesso meccanismo per la gestione dei rifiuti di batterie, basato sul principio di responsabilità estesa del produttore (EPR), accompagnato da un'attenzione oculata ai temi della trasparenza e della tracciabilità lungo tutta la filiera. Questa sezione del regolamento riprende le disposizioni generali dell'articolo 8 bis della direttiva 2008/98/CE²⁵, applicandole in modo specifico al settore delle batterie. Anche in questo caso, l'obiettivo è quello di promuovere un'economia sostenibile tramite pratiche quali riciclo e riutilizzo. Per far sì che questo meccanismo funzioni, è necessario che tutti gli attori della filiera collaborino e contribuiscano in modo proporzionato.

La prima sezione da analizzare riguarda gli articoli da 54 a 58, i quali stabiliscono le funzioni e gli obblighi dei principali attori coinvolti nella gestione dei rifiuti di batterie. Vengono delineate le responsabilità delle autorità competenti, incaricate del controllo e del monitoraggio, e dei produttori che, insieme ai consorzi, collaborano per l'adempimento della EPR.

A tal proposito, gli articoli 54 e 55 introducono e chiariscono il ruolo delle autorità competenti e la necessità di istituire un registro dei produttori. Tale autorità è l'organo istituzionale definito da ogni stato membro con il compito di vigilare e di far rispettare gli obblighi normativi relativi alla gestione dei rifiuti di batterie. Le informazioni raccolte devono essere condivise con la commissione nel principio di trasparenza e con l'obiettivo di centralizzare il flusso di informazioni. La funzione del registro, invece, è legata al tema della tracciabilità: avere più informazioni possibili sulle categorie di batterie immesse sul mercato, i volumi introdotti e l'adempimento agli obblighi imposti.

²⁵ **Art. 8 bis**; European Parliament and Council 2008.

L'approccio si collega al paragrafo 1, lettera c dell'Articolo 8 bis, che richiede la creazione di un sistema di comunicazione dei dati per monitorare "i flussi dei materiali di rifiuto"²⁶. I produttori sono quindi obbligati a registrarsi in ogni stato membro in cui procedono con l'immissione di batterie, fornendo le informazioni di cui sopra. L'introduzione di un sistema di registrazione centralizzato è in linea con gli obiettivi di trasparenza e centralità voluti dalla commissione e strettamente collegato all'articolo 8 bis paragrafo 1, lettera c, che richiede un "sistema di comunicazione delle informazioni per raccogliere i dati sui prodotti immessi sul mercato dello Stato membro"²⁷. Tuttavia, il dover obbligatoriamente registrarsi separatamente in ogni stato membro in cui si intende commerciare le proprie batterie, potrebbe rallentare la diffusione delle informazioni.

L'articolo 56 rappresenta il nucleo centrale del capo VIII e dell'intero regolamento per quanto riguarda la gestione del fine vita delle batterie, poiché introduce il principio della responsabilità estesa del produttore. Il produttore è una persona fisica o giuridica stabilita in uno stato membro dell'UE che fabbrica, importa, rivende o fornisce le batterie per la prima volta, apponendovi il proprio marchio. Questa definizione non fa distinzione tra i diversi canali di vendita, includendo anche i contratti a distanza. Questo principio fa sì che un produttore, che mette una batteria a disposizione sul mercato per la prima volta, dovrà farsi carico di finanziare e gestire il fine vita di tali prodotti. In particolare, dovrà coprire:

- **Costi operativi:** raccolta differenziata, trasporto e trattamento.
- **Costi informativi:** raccolta e comunicazione dei dati alle autorità competenti e diffusione di informazioni sulla riduzione e gestione dei rifiuti di batterie.

²⁶ **Art. 8 bis; paragrafo 1; lettera c;** European Parliament and Council 2008.

²⁷ **Art. 8 bis; paragrafo 1; lettera c;** European Parliament and Council 2008.

Come analizzato per gli articoli precedenti, anche l'articolo 56 adatta al contesto delle batterie le indicazioni dell'articolo 8 bis che stabilisce che i produttori devono finanziare i costi della “raccolta differenziata di rifiuti e del loro successivo trasporto, compreso il trattamento necessario per raggiungere gli obiettivi dell’Unione in materia di gestione dei rifiuti”²⁸.

Una sfida rilevante è certamente la definizione di un criterio per la corretta ripartizione dei costi tra produttori originali e chi invece si occupa della rigenerazione. Come spiegato nell'articolo 57, i produttori possono incaricare un'organizzazione per l'adempimento della responsabilità del produttore. Tali organizzazioni devono:

- Trattare equamente i produttori, indipendentemente dalla loro dimensione o origine.
- Garantire una copertura totale su tutto il territorio dello stato membro.
- Garantire la non divulgazione delle informazioni riservate in loro possesso.
- Fornire annualmente una relazione riguardo all'efficienza di riciclaggio, tasso di raccolta differenziata e livelli di recupero raggiunti.

Il tutto avviene sotto il controllo dell'autorità di vigilanza, istituita dallo stato membro, che ha il compito di verificare che tali organizzazioni operino coerentemente alla direttiva. Il rischio è che la pluralità di organizzazioni possa generare inefficienze. Per poter adempiere alla responsabilità estesa, come spiegato nell'articolo 58, è necessaria un'autorizzazione, che viene concessa solo sotto determinate condizioni:

- Essere in grado di rispettare i requisiti imposti per il trattamento dei rifiuti e per la raccolta differenziata.

²⁸ **Art. 8 bis; paragrafo 4; lettera a;** European Parliament and Council 2008.

- Saper gestire gli obblighi derivanti dalla EPR sia a livello finanziario che organizzativo.

Il produttore, o l'organizzazione per l'adempimento della EPR, dovrà poi presentare, con cadenza triennale, una relazione di autocontrollo all'autorità competente, la quale potrà comunicare eventuali correzioni o revocare l'autorizzazione nel caso in cui gli obiettivi di raccolta non vengono rispettati o se vengono violati i criteri per l'autorizzazione. L'orizzonte temporale esteso, pari alla vita utile di una batteria, in cui agisce il meccanismo della EPR rende il sistema fragile. Se il produttore dovesse cessare l'attività, dichiararsi insolvente o non rispettare gli obblighi imposti, il meccanismo si bloccherebbe. È necessario quindi fornire una garanzia volta a coprire i costi di gestione di tutti gli obblighi descritti. Gli stati membri possono poi integrare a questa garanzia dei requisiti aggiuntivi.

Nell'articolo 61 viene esaminato nel dettaglio il funzionamento della raccolta dei rifiuti di batterie per autoveicoli e veicoli elettrici. A differenza di quanto vale per i rifiuti di batterie portatili e per mezzi di trasporto leggeri, non sono presenti obiettivi di raccolta. L'articolo definisce invece i meccanismi della filiera e le responsabilità degli attori coinvolti, ponendo chiari obblighi per i produttori e le organizzazioni per l'adempimento della EPR:

- Ritiro senza alcun costo per l'utilizzatore finale delle batterie esauste, in sistemi di ritiro o punti di raccolta istituiti in collaborazione con distributori, impianti di trattamento e autorità pubbliche.
- Copertura totale del territorio nazionale, senza limitare il ritiro a zone economicamente più profittevoli.
- Fornitura di infrastrutture adeguate ai sistemi di ritiro e raccolta, copertura economica totale del servizio e rispetto degli standard di sicurezza. Inoltre, la frequenza di raccolta deve essere proporzionale al volume e alla pericolosità dei rifiuti.

L'articolo successivo, il numero 62, aggiunge all'analisi della filiera la figura del distributore, chiarendo la relazione tra questo, i produttori e gli utilizzatori finali. Il distributore si pone come intermediario tra i produttori e la gestione efficiente del ritiro. Un tratto comune è l'obbligo di ritiro in ogni circostanza, senza porre alcun vincolo all'utilizzatore finale e garantendo la copertura territoriale. Tuttavia, mentre i produttori sono obbligati a finanziare e a gestire l'intera filiera, i distributori si limitano alla fase di ritiro e consegna ai produttori, o alle organizzazioni per l'adempimento della EPR, e solo per le batterie facenti parte della loro offerta.

Inoltre, costituiscono un canale più diretto verso il cliente finale: anche nei casi di vendita con consegna, sono tenuti a garantire la presenza e il funzionamento di punti di raccolta adeguati, andando ad integrarsi con il sistema organizzato dai produttori.

Gli ultimi articoli del capo VIII regolamentano le fasi relative al trattamento, alla spedizione e alla preparazione per il riutilizzo. L'articolo 71, completato dall'allegato XII, chiarisce gli obiettivi di riciclaggio e recupero dei materiali.

Per quanto riguarda il trattamento, l'articolo 70 vieta espressamente lo smaltimento e il recupero di energia e obbliga al recupero delle batterie anche se queste risultano incorporate in rifiuti di apparecchi o veicoli fuori uso. Gli impianti autorizzati dovranno sempre utilizzare le migliori tecnologie disponibili per far sì che il trattamento avvenga conformemente alla normativa.

A questo proposito, l'articolo 71 obbliga gli impianti autorizzati ad accettare e a sottoporre alla preparazione per il riutilizzo o al riciclaggio tutti i rifiuti di batterie di loro competenza. Il focus di questo articolo, completato dall'allegato XII, è rappresentato dagli obiettivi di efficienza di riciclo, crescenti dal 2025 al 2030, come sintetizzato in figura 1.5 e dagli obiettivi per il recupero dei materiali, come mostrato in figura 1.6.

La metodologia per il calcolo di questi tassi sarà definita entro il 2025 dalla



Figura 1.5: Obiettivi Efficienza e Riciclaggio

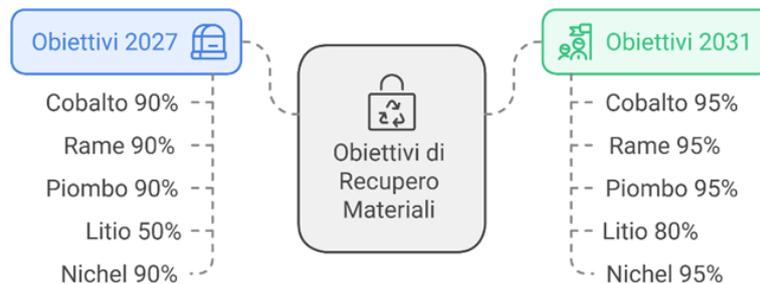


Figura 1.6: Obiettivi di recupero dei materiali

commissione.

Infine, gli articoli 72 e 73 regolano la spedizione dei rifiuti di batterie LMT, industriali ed EV, e le condizioni affinché questi smettano di essere considerati rifiuti e vengano considerati riutilizzabili. Nello specifico il testo spiega come i rifiuti possono essere trattati anche al di fuori del territorio dello stato membro a condizione che la spedizione rispetti i requisiti necessari e che il trattamento avvenga in linea con le normative europee. Gli stati membri hanno il diritto di ispezionare le spedizioni per verificare se i rifiuti di batterie sono conformi e, in caso negativo, i costi relativi al controllo saranno addebitati al produttore o al soggetto terzo responsabile. L'articolo 73 stabilisce che, per far sì che un rifiuto di batteria, sottoposto a preparazione per il riutilizzo o cambio di destinazione, non venga più considerato tale ma idoneo ad essere riutilizzato, deve essere necessariamente accompagnato da un serie di documenti necessari a provare:

- Lo stato di salute

- Il riutilizzo della batteria
- Le adeguate condizioni di trasporto durante il trasferimento

Queste informazioni, accompagnate da dati più specifici elencati nell'allegato XIV del regolamento, garantiscono che la batteria prima di essere immessa nuovamente sul mercato, sia accompagnata da una documentazione tecnica che ne garantisce le funzioni operative.

1.3.8 Capo IX: Passaporto digitale della batteria

Il capo IX rappresenta l'ultimo argomento fondamentale dell'analisi del regolamento, introducendo il passaporto digitale della batteria. Tale strumento rappresenta un'innovazione in ottica di digitalizzazione della filiera, tale da garantire maggiore trasparenza e tracciabilità, assicurando una migliore attenzione all'intero ciclo di vita della batteria.

Il capo è composto da due articoli, il numero 77: passaporto della batteria e il numero 78: progettazione tecnica e funzionamento del passaporto della batteria. A questi va integrato l'allegato XIII, che fornisce informazioni più precise e dettagliate.

L'articolo 77 introduce il passaporto digitale per le batterie dei veicoli elettrici immesse sul mercato a partire dal 18 febbraio 2027. Insieme all'allegato XIII, divide le informazioni contenute nel passaporto secondo tre differenti livelli di accesso:

- **Informazioni accessibili liberamente dal pubblico:** informazioni di carattere generale come, ad esempio, dati sull'impronta di carbonio, le sostanze pericolose presenti e la validità della garanzia commerciale, ma anche informazioni tecniche come la tensione nominale, la vita utile e l'efficienza energetica.
- **Informazioni per gli organismi notificati e le autorità:** include i risultati dei test effettuati per verificare la conformità e il rispetto dei requisiti.

- **Informazioni accessibili solo da chi dimostra un interesse legittimo e alla commissione:** tutte le informazioni necessarie allo smantellamento e allo svolgimento delle operazioni in sicurezza, ma anche dati sulla composizione della batteria e lo stato di salute necessarie a chi è interessato a operazioni di riciclo e preparazione per il riutilizzo.

Il passaporto risulta quindi necessario per facilitare la gestione di operazioni come lo smantellamento della batteria per poi avviare operazioni di preparazione per il riutilizzo o di riciclaggio. La finalità è proprio quella di “consentire a riparatori, rifabbricanti, operatori della seconda vita e riciclatori di svolgere le rispettive attività economiche a norma del presente regolamento”²⁹.

Tale passaporto sarà in formato elettronico e dovrà essere accessibile tramite un QR code, collegato a un identificatore univoco, che rimanda a una specifica batteria. Sia il QR code che l’identificatore seguono gli standard ISO/IEC³⁰. Le informazioni in esso contenute dovranno essere “esatte, complete e aggiornate”³¹ e la responsabilità di quanto dichiarato è in capo all’operatore economico che immette la batteria sul mercato. Nel caso in cui la batteria sia il risultato di un processo di preparazione per il riutilizzo, dovrà essere dotata di un nuovo passaporto ma sempre connesso al passaporto della batteria originale.

L’articolo successivo, il numero 78, aggiunge informazioni relative alla parte tecnica e al funzionamento del passaporto. Fondamentale è il requisito di interoperabilità con altri passaporti digitali, così da facilitare il flusso di informazioni lungo tutta la filiera. Cercare uno standard per il passaporto rende più semplice

²⁹ **Art. 77; paragrafo 2; lettera c;** European Parliament and Council 2023.

³⁰ **Art. 77; paragrafo 3;** European Parliament and Council 2023.

³¹ **Art. 77; paragrafo 4;** European Parliament and Council 2023.

la verifica della conformità alla normativa poiché tutti, comprese le autorità, possono accedere alle informazioni rilevanti e inoltre riduce il rischio di lock-in ³² per i fornitori, favorendo la competizione e lo sviluppo del mercato.

È compito dell'operatore economico responsabile memorizzare i dati e garantirne la veridicità e l'integrità. Inoltre, sono richiesti elevati standard di sicurezza e tutela della privacy, prevenendo frodi e facendo in modo che siano rispettati i tre livelli di accesso precedentemente descritti.

³²situazione in cui un'impresa, dopo aver investito in una determinata tecnologia o infrastruttura, si trova vincolata a continuare su quella strada, anche se emergono alternative più efficienti o sostenibili, a causa di costi elevati di cambiamento o dipendenze tecniche ed economiche.

Capitolo 2

La Filiera Circolare delle Batterie: Ciclo di Vita, Attori e Prospettive future

In questa sezione verrà analizzata la filiera delle batterie a ioni di litio, con riferimenti alla situazione globale, Europea e Nazionale. L'obiettivo principale è fornire una visione integrata delle relazioni tra i vari attori Italiani e mondiali, che intervengono e partecipano alla gestione del fine vita delle batterie, il tutto nel rispetto della normativa precedentemente analizzata.

La figura 2.1, mostra nell'atto pratico come gli articoli del regolamento intervengono direttamente definendo attori e responsabilità lungo l'intero ciclo di vita, che non si esaurisce nel momento in cui la batteria risulta esausta, ma anzi dà vita a un ecosistema circolare, che lavora affinché tali prodotti possano continuare generare valore.

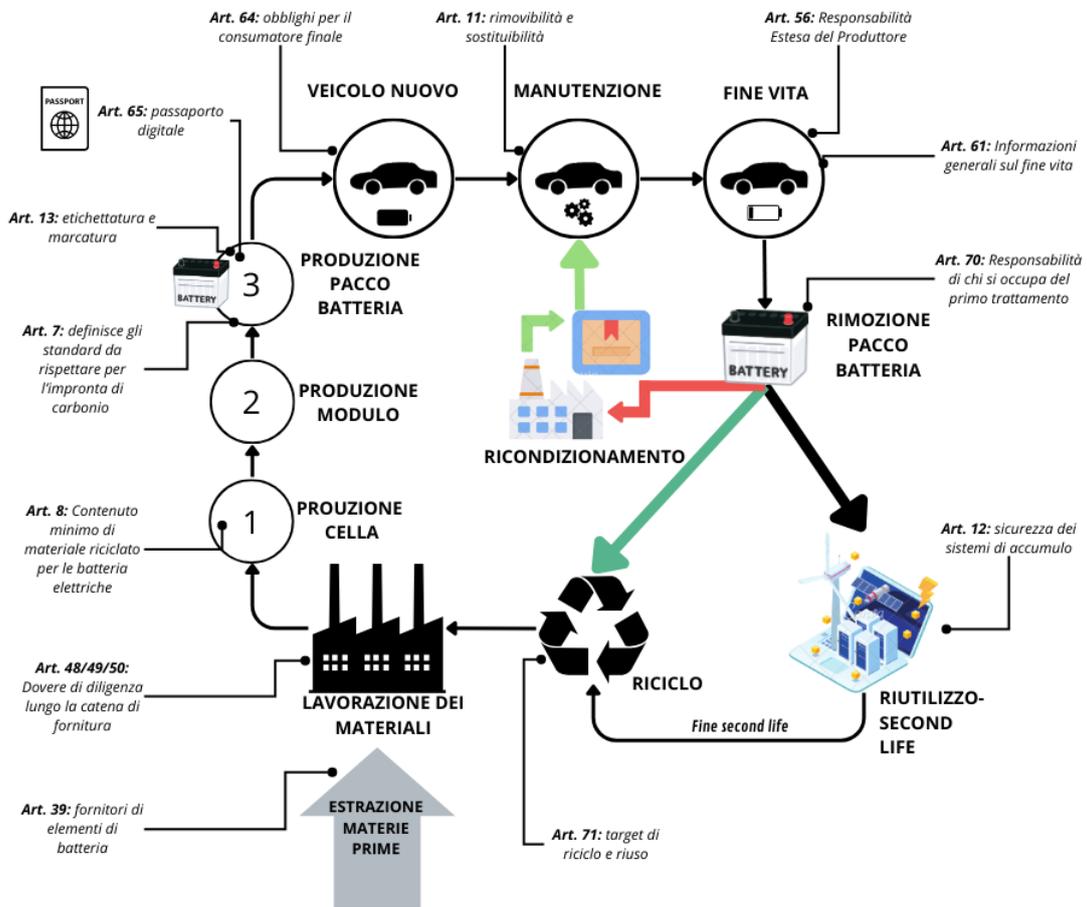


Figura 2.1: Filiera circolare

2.1 Le batterie a Ioni di Litio

Le batterie rappresentano l'asset principale nel processo di elettrificazione dei trasporti. Lo sviluppo tecnologico che attraverserà il settore nei prossimi anni determinerà o meno la diffusione della mobilità elettrica.

Le Batterie a ioni di Litio, o Li-Ion, sono la migliore scelta per le macchine elettriche o ibride a causa della loro ineguagliabile combinazione di alta energia e densità di potenza. Di tali batterie si conoscono, e vengono utilizzate, diverse

soluzioni in base alla composizione chimica¹:

- **LFP**: Fosfato di ferro e litio
- **LNMO**: Ossido di litio, nichel e manganese
- **LNO**: Ossido di litio e nichel
- **NCA**: Ossido di litio, nichel, cobalto e alluminio
- **NMC**: Ossido di litio, nichel, manganese e cobalto

Tuttavia, l'Unione Europea dipende in larga misura dalle importazioni per soddisfare la domanda interna di batterie. La gran parte della produzione globale è concentrata in Asia, specialmente in Cina, Giappone e Corea del Sud, come mostra la figura che indica i maggiori produttori di batterie.

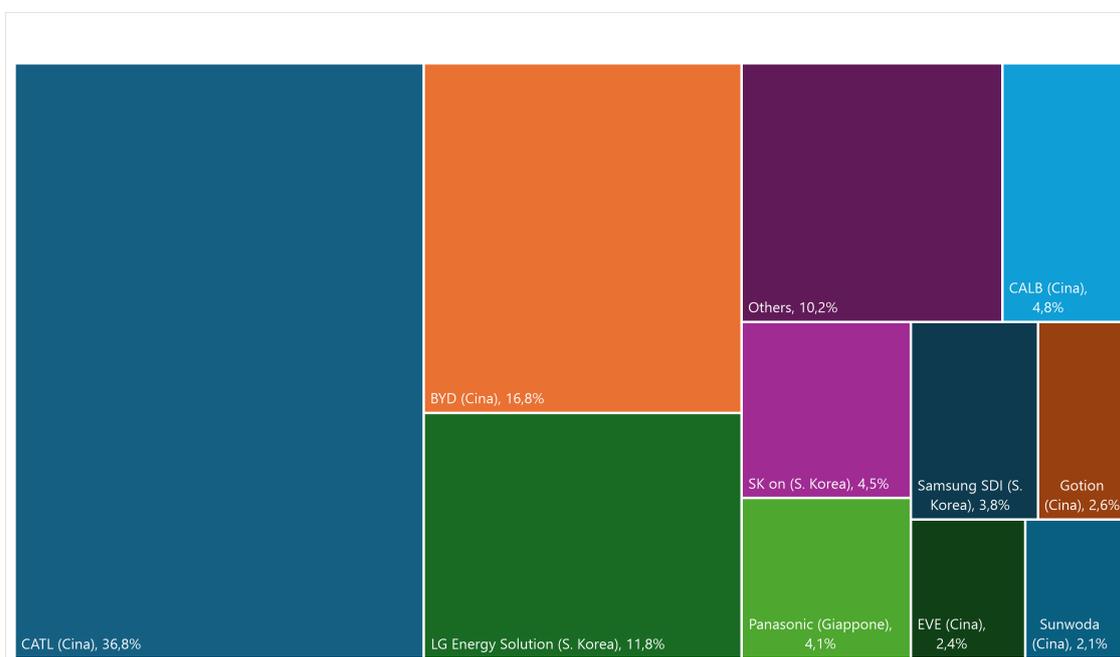


Figura 2.2: Produttori Batterie, fonte: SNE Research 2024

¹Haiki-Cobat 2024.

è in questo contesto che si inizia a delineare l'importanza di costituire una filiera interna, integrata tra tutti gli attori della catena e in grado garantire un sufficiente livello di autonomia in un settore strategico come quello automotive.

2.1.1 Struttura di costo

A seconda della diversa composizione chimica che viene utilizzata, la struttura di costo varia leggermente. Resta però evidente come il contributo maggiore, oltre il 70% del costo totale, è rappresentato dalle materie prime. In figura viene presentato un confronto tra il modello LFP prodotto da BYD e il modello NMC622 prodotto da LG, dove si evidenzia proprio l'incidenza del costo dei materiali sul costo di produzione totale.

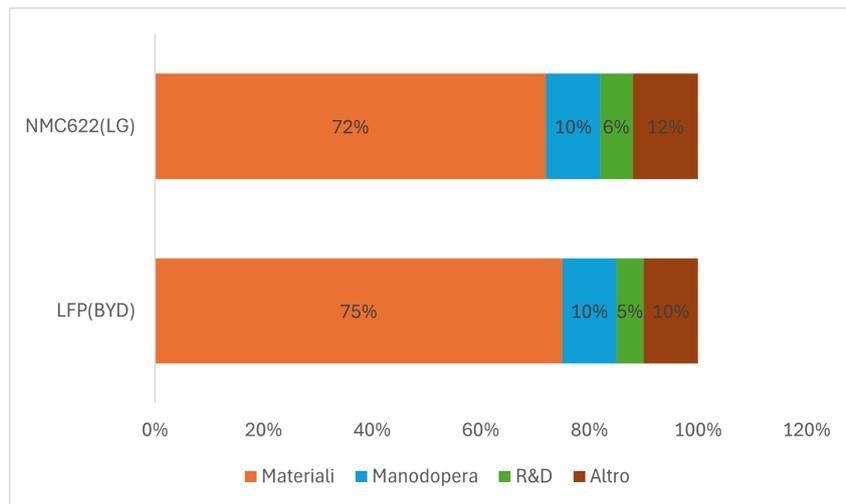


Figura 2.3: Costo di produzione, fonte: Haiki-Cobat 2024, Avicenne Energy

Una ulteriore panoramica sulla distribuzione del valore di una batteria è fornita dalla figura 2.4, che scompone il prezzo medio di vendita nelle sue principali componenti. Come visto per il costo di produzione, anche il prezzo è fortemente influenzato dal costo dei materiali e in particolare da quei metalli che costituiscono il catodo. A seconda della chimica utilizzata si può parlare di Cobalto, Nichel, Manganese per le NMC o di ferro e fosfato per le LFP.

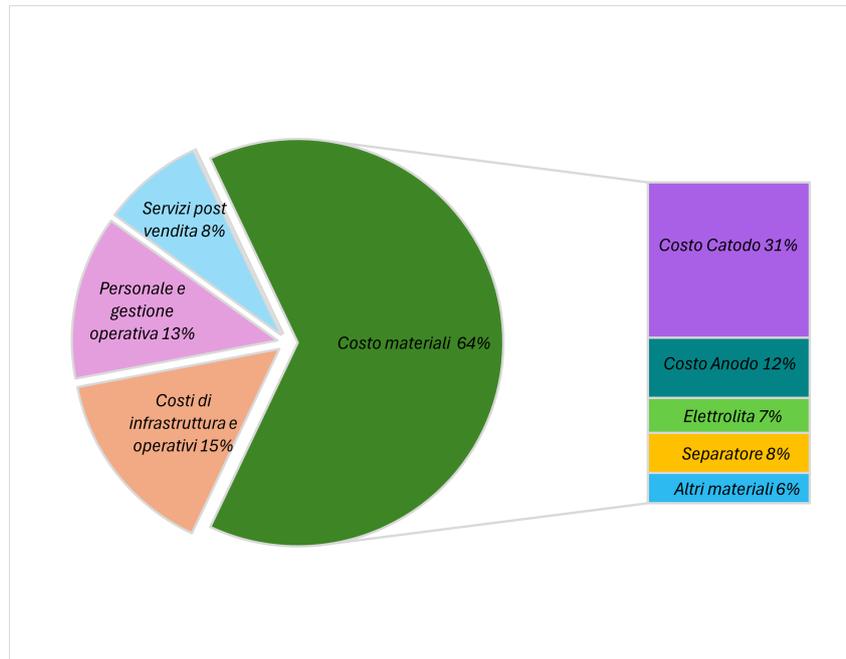


Figura 2.4: Composizione prezzo medio di vendita, fonte: Haiki-Cobat 2024

2.1.2 State Of Health & State of Charge come driver di Gestione

Le batterie a ioni di litio hanno una vita utile stimata tra i 10 e i 12 anni². Ciò è attribuibile a diversi fattori, tra cui il degrado chimico dell'anodo e del catodo, oltre alle condizioni operative e alle abitudini di guida dell'utilizzatore finale. Per misurare lo stato di una batteria si utilizzano due indicatori:

- **State of Charge (SoC):** rappresenta il livello massimo di carica rispetto alla sua capacità massima teorica e si calcola come segue³:

$$\text{SoC}\% = 100 \cdot \frac{(Q_0 + Q)}{Q_{\max}} \quad (2.1)$$

Dove:

²Haiki-Cobat 2024.

³BioLogic 2024.

- Q_0/mAh : Carica iniziale della batteria.
 - Q/mAh : Quantità di elettricità erogata o fornita alla batteria. Segue la convenzione del segno della corrente: è negativa durante la scarica e positiva durante la carica.
 - Q_{\max}/mAh : Capacità massima di carica che la batteria può immagazzinare.
- **State of Health (SoH)**: tale indicatore fornisce un'informazione sull'efficienza residua della batteria e il suo deterioramento, stimato in circa il 2% ogni anno⁴. Si calcola come segue:

$$\text{SoH}\% = 100 \cdot \frac{Q_{\max}}{C_r} \quad (2.2)$$

Dove:

- Q_{\max}/mAh : La massima quantità di carica disponibile nella batteria.
- C_r : La capacità nominale della batteria.

Il monitoraggio costante delle condizioni delle batterie del parco circolante veicolare sul suolo nazionale apre a nuove possibilità. L'analisi dello State of Health rappresenta un tassello fondamentale per l'organizzazione e la gestione del fine vita delle batterie in maniera efficiente e sostenibile. Il valore di SoH che ha una batteria in un determinato momento ne determina anche la sua gestione⁵:

- $75\% < \text{SoH} \leq 90\%$: Possibilità di riutilizzo del pacco batteria in altre applicazioni, come sistemi di accumulo energetico ad uso residenziale.
- $60\% \leq \text{SoH} < 75\%$: possibilità di sottoporre il pacco batteria a processo di ricondizionamento, volto a sostituire le parti danneggiate e ricostituire la capacità iniziale.

⁴Motus-E 2023.

⁵Motus-E 2023.

- **SoH < 60%** : in questo caso l'unica opzione percorribile è quella di riciclare la batteria, ovvero recuperare le materie prime, come i metalli del catodo, attraverso processi come pirometallurgia e idrometallurgia.

Al momento, tuttavia, in Italia l'unica opzione realmente percorribile su scala industriale, in grado di assorbire la quasi totalità dei volumi, è rappresentata dal riciclo. Nei prossimi capitoli verrà analizzata la struttura della filiera dedicata a questa modalità di gestione, con un focus specifico sui flussi di ritorno delle batterie nei prossimi anni e sull'organizzazione della rete di trasporto a supporto del sistema di riciclo.

2.2 Gli attori della filiera

La filiera delle batterie è un complesso sistema di relazioni tra numerosi attori che collaborano lungo tutte le fasi, dalla produzione fino alla gestione del fine vita. L'articolo 3 del presente regolamento fornisce una definizione per ognuno di questi stakeholder, diretti o indiretti. L'analisi di queste definizioni mostra una gerarchia tra alcune figure e aiuta a comprendere le diverse interazioni che si susseguono lungo la catena del valore.

2.2.1 Definizione degli attori secondo la normativa (Art. 3)

La prima definizione da inserire è quella di operatore economico⁶, una figura generica che include una serie di altri ruoli presenti nel regolamento come il fabbricante, il distributore o l'operatore logistico. A livello macro quindi l'operatore economico rappresenta tutte quante le figure responsabili della gestione delle batterie. Il resto degli attori può essere suddiviso in tre categorie, gli attori principali, coloro che sono coinvolti nella gestione del fine vita e gli attori legati alla valutazione della

⁶**Art. 3; comma 1; punto 22;** European Parliament and Council 2023.

conformità e al controllo.

All'interno della prima categoria, troviamo la figura più generale del produttore⁷, a sua volta suddivisa in:

- **Fabbricante:** Il soggetto che produce fisicamente la batteria o ne progetta la fabbricazione, immettendola sul mercato con il proprio marchio. È compito suo garantire l'uniformità agli standard Europei, come i principi per l'etichettatura e l'utilizzo minimo di materiali riciclati.
- **Importatore:** Chi immette sul mercato una batteria proveniente da un paese diverso da quello di destinazione.
- **Distributore:** Chiunque collabora a rendere disponibili le batterie sul mercato. È una figura che funge da tramite tra fabbricante e utente finale.

Il rappresentante autorizzato⁸ svolge invece un ruolo di intermediazione e rappresentanza per il produttore in uno stato membro in cui quest'ultimo non è stabilito. Tale figura assume particolare importanza nel contesto dell'applicazione della responsabilità estesa del produttore (EPR)⁹, in quanto garantisce che gli obblighi siano adempiuti in maniera uniforme in tutti gli stati membri.

Nell'ambito degli attori che collaborano alla gestione del fine vita, la definizione di operatore indipendente¹⁰ comprende tutti coloro che, direttamente o indirettamente, partecipano alle operazioni di riparazione, manutenzione e cambio destinazione. Sono incluse figure come il riparatore e il gestore di rifiuti, colui che si occupa della raccolta differenziata o del trattamento dei rifiuti. Fuori dalla definizione di operatore indipendente si colloca il riciclatore¹¹, che svolge pratiche di

⁷ **Art. 3; comma 1; punto 47;** European Parliament and Council 2023.

⁸ **Art. 3; comma 1; punto 63;** European Parliament and Council 2023.

⁹ **Art. 3; comma 1; punto 48;** European Parliament and Council 2023.

¹⁰ **Art. 3; comma 1; punto 23;** European Parliament and Council 2023.

¹¹ **Art. 3; comma 1; punto 58;** European Parliament and Council 2023.

riciclo in impianti autorizzati e quindi a norma con gli standard europei. Infine, svolge un ruolo fondamentale l'operatore logistico¹², che, finanziato dal consorzio per l'adempimento della EPR, si occupa di trasportare in maniera sicura i prodotti dal punto di raccolta fino all'impianto di pretrattamento o trattamento chimico.

L'ultima categoria comprende gli attori incaricati di verificare la conformità e di controllare il mercato. Ogni stato membro prevede la propria autorità nazionale incaricata di vigilare sulle condizioni di mercato. Chi invece deve monitorare i prodotti immessi sul territorio nazionale è l'organismo di valutazione della conformità, il cui compito è verificare il rispetto dei requisiti svolgendo prove di controllo come tarature e ispezioni.

2.2.2 Maggiori player in Italia

Il panorama italiano si presenta come un ecosistema interconnesso di attori coinvolti in tutte le fasi della catena del valore, dalla produzione di celle, pacchi batterie e di macchinari fino agli impianti di riciclo e a una rete di consorzi per la responsabilità estesa del produttore. Nonostante dal punto di vista produttivo l'Italia non sia in grado di competere con i grandi produttori asiatici, questa rete di attori consolida la nazione al centro della ricerca e dello sviluppo nel campo della mobilità elettrica e del recupero dei materiali. Di seguito viene riportata in tabella una lista dei principali attori, divisi per categoria:

In tabella 2.1 sono indicati solo 2 dei 16 consorzi elencati sul sito ufficiale del CDCNPA¹³. Di questi 16, 14 sono definiti sistemi collettivi e 2 sistemi individuali. Far parte di un sistema collettivo significa consorzarsi con altri produttori di

¹² **Art. 3; comma 2; lettera b** ; European Parliament and Council 2023.

¹³ Centro di Coordinamento Nazionale Pile e Accumulatori 2025.

Categoria	Nome Azienda	Provincia
Produzione di Celle	ACC (Automotive Cells Company)	Torino
	FAAM	Caserta
Produzione di Pacchi Batterie	E-GAP Engineering	Milano
	TAB Italia	Bergamo
	Flash Battery	Reggio Emilia
	Eltec	Genova
	MIDAC Batteries	Verona
Macchinari per la Produzione	Digatron Systems	Milano
	Comau	Torino
	Sovema Group	Verona
Riciclo	Raee Man	Sale
	Cobat Ecofactory	Chieti
Componenti Elettronici	Marelli	Milano
Consorzi EPR	Cobat RIPA	Roma
	Erion Energy	Milano

Tabella 2.1: Maggiori attori in Italia

batterie per dar vita a un unico sistema di gestione centralizzato, mentre far parte di un sistema individuale pone il produttore, o l'organizzazione per l'adempimento dell'EPR, nella situazione di dover trattare direttamente il proprio imnesso.

2.2.3 Extended Producer Responsibility: benefici e criticità

Il concetto di responsabilità estesa del produttore è stato introdotto in Europa nei primi anni del 1990, per poi essere formalizzato dall'OCSE nel 2001, in una pubblicazione che detta le linee guida per la sua corretta applicazione¹⁴. Il principio fondamentale su cui si basa il meccanismo dell'EPR è quello dello spostare la responsabilità, che può essere sia finanziaria sia fisica, sui produttori, riconosciuti come più qualificati per portare i cambiamenti richiesti, ad esempio orientando la produzione su soluzioni sostenibili e con un ridotto impatto ambientale.

Il funzionamento dell'EPR varia notevolmente a seconda del contesto di riferimento: l'analisi deve prendere in considerazione se si tratta di un'economia in via di sviluppo o già sviluppata e se il mercato risulta essere popolato prevalentemente da operatori regolamentati oppure no. Paesi caratterizzati da operatori indipendenti e dalla mancanza di una gestione centralizzata mostrano più difficoltà nell'implementazione di tali pratiche. A tal proposito, lo studio di Gupt e Sahay (2015), che analizza 27 casi di applicazione dell'EPR in tre diversi contesti economici, ha individuato tre variabili chiave che influenzano significativamente il suo successo: la presenza di un preciso quadro normativo che definisce i ruoli dei produttori e degli stakeholder, la delega delle responsabilità operative ai consorzi e infine flussi economici ben strutturati.

I risultati di tale studio dimostrano come nei paesi in cui è presente una gestione del sistema a monte e in cui i produttori mantengono la responsabilità finanziaria ma esternalizzano la gestione operativa, si notano migliori tassi di raccolta e riciclo¹⁵. Dagli studi di Gupt e Sahay (2015) emerge quindi come la chiave per il successo dell'EPR risiede nella separazione tra i flussi finanziari e operativi, affidati

¹⁴OECD 2001.

¹⁵Gupt e Sahay 2015.

generalmente alle organizzazioni per l'adempimento dell'EPR.

In Italia la gestione è in capo ai consorzi citati precedentemente. Queste entità vengono finanziate dai produttori e gestiscono la raccolta, la logistica e il riciclo garantendo maggiore efficienza e aderenza agli standard ambientali. Inoltre, è loro compito presentare report annuali sui volumi trattati e il rispetto dei target europei. Nel contesto delle batterie automotive a fine vita, l'applicazione di un modello EPR basato sul lavoro operativo dei consorzi, risulta promettente.

Negli ultimi vent'anni, in Europa sono stati adottati vari modelli fondati sul principio della responsabilità estesa del produttore. L'utilizzo dell'EPR per il settore della plastica rappresenta un caso emblematico sia per i successi che per i limiti che ha dimostrato¹⁶. In particolare, sono stati raggiunti i target auspicati per prodotti come il packaging, per il quale si è ottenuto un tasso di riciclo del 40%, ben superiore al 22,5% richiesto dalla direttiva UE sui rifiuti di imballaggio¹⁷. Tuttavia, l'approccio ha mostrato alcune debolezze in numerosi altri prodotti, a causa della mancata armonizzazione di norme tra i diversi paesi europei, indispensabili per sviluppare un sistema integrato tra i diversi attori lungo l'intera filiera di gestione dei rifiuti plastici. Lo studio delle precedenti applicazioni dell'EPR ha permesso di comprendere che la trasparenza nella gestione dei dati e un quadro normativo Europeo uniforme rappresentano gli strumenti necessari per il raggiungimento dei target previsti e per facilitare la transizione verso un'economia più sostenibile. È su questi presupposti che si fonda l'articolo 56 del regolamento, il quale rappresenta un'occasione per massimizzare il recupero di materiali critici.

¹⁶Leal Filho et al. 2019.

¹⁷Watkins et al. 2017.

2.3 La catena del valore di una batteria

In accordo con il modello di Porter, la catena del valore è uno strumento in grado di dividere e analizzare i singoli processi strategici di un'azienda, al fine di individuare quelli che garantiscono vantaggio competitivo. L'analisi della value chain va inserita in un contesto più ampio, modellizzato sempre dallo stesso Porter, dove l'azienda si trova a dover collaborare sia upstream, ovvero con i fornitori, che downstream, ovvero con i canali di distribuzione e quindi i clienti.

Secondo il modello di Porter, la divisione principale avviene tra attività primarie, che creano direttamente valore per il prodotto, e attività di supporto, che rendono possibile il compimento delle attività fondamentali. Infine, si considera il margine, ossia il profitto generato in base al prezzo che il consumatore finale è disposto a pagare, in relazione al valore del bene¹⁸.

Ogni settore e ogni prodotto ha la propria catena del valore. Le attività primarie che caratterizzano il settore delle batterie elettriche, si dividono in due macrofasi:

- **Fase I:** Produzione e utilizzo
- **Fase II:** Gestione del fine vita

Per quanto riguarda la fase I, sono incluse tutte quelle attività che vanno dall'approvvigionamento di materiali all'effettivo utilizzo da parte dell'utente finale. Come spiegato precedentemente, gran parte del costo dipende dalla produzione del catodo, dell'anodo e dell'elettrolita e di conseguenza dal valore dei materiali necessari. Una supply chain stabile che include i fornitori dei metalli, le industrie che si occupano della lavorazione e della trasformazione delle materie prime e i fabbricanti di batterie ha un grande peso su quello che sarà il prezzo al pubblico della vettura, che di conseguenza determinerà la crescita del settore. Per far sì che il settore prosperi è necessaria una complessa integrazione

¹⁸Abbasi 2017.

Di maggiore interesse per l'oggetto di studio è la fase II, la quale comprende tutte le attività che contribuiscono alla cosiddetta "gestione del fine vita".

2.3.1 Modello di Porter applicato al fine vita delle batterie

Per determinare la catena del valore relativa alla gestione di una fase specifica della vita di un prodotto, il primo passo è andare a determinare le attività che direttamente contribuiscono alla trasformazione di un bene privo di valore in margine operativo. Con riferimento al modello della catena del valore di Porter, nella figura riportata (figura 2.5), sono state prese in considerazione le fasi logistiche come il trasporto e la raccolta del bene, le fasi produttive come il riciclo e l'eventuale second life e la fase finale di vendita del prodotto. Per quando riguarda le attività di supporto, esse garantiscono lo svolgimento corretto delle attività primarie e rendono il processo più efficiente. Le attività sono state scelte considerando i processi che contribuiscono maggiormente alla creazione di valore, secondo quanto indicato in letteratura e approfondito dalla normativa. Secondo uno studio di Harvard, gli step necessari per condurre una analisi della catena del valore sono tre:¹⁹

1. **Identificare le attività:** Determinare tutte le attività primarie e secondarie
2. **Quantificare il valore e il costo:** Descrivere e, ove possibile, stimare il valore aggiunto e il costo che ognuna di queste attività comporta.
3. **Determinare il vantaggio competitivo:** Individuare il vantaggio competitivo che si genera al termine di tutte la attività

I tre step fondamentali individuati trovano una loro specifica applicazione nelle diverse fasi della filiera delle batterie:

¹⁹Stobierski 2020.

- Le fasi prettamente logistiche di recupero e trasporto della batteria rappresentano uno dei maggiori costi di gestione. Uno studio di motus-E²⁰ indica che il costo di trasporto di una batteria, considerata critica, è del 33% maggiore rispetto alla spesa per una batteria non critica, poiché necessita maggiori accortezze in termini di sicurezza, come imballaggi ignifughi e un sistema di gestione del gas. Migliorare la capillarità del sistema infrastrutturale, aumentando i centri di raccolta e il numero degli impianti di pretrattamento è necessario per abbattere questi costi e diminuire i rischi legati al trasporto.
- La fase operativa che impatta maggiormente la produzione di valore lungo la filiera è il trattamento chimico delle batterie. Al momento processi come la pirometallurgia e la idrometallurgia per il recupero dei materiali, rappresentano possibilità concrete e applicabili grazie al loro elevato livello di sviluppo tecnologico. Al contrario le applicazioni di second life, sebbene promettenti per il futuro, restano ancora ferme allo stadio di progetti pilota, con una limitata diffusione in applicazioni industriali.

I fattori da tenere in considerazione per valutare un processo di riciclo sono il TRL (Technology Readiness Level) ²¹, i costi operativi e l'efficienza di processo. La pirometallurgia presenta un TRL maggiore rispetto alla idrometallurgia, poiché già ampiamente utilizzata nel trattamento dei rifiuti elettronici e facilmente adattabile al contesto delle batterie. Tuttavia, lo sviluppo di soluzioni innovative come la idrometallurgia, meno inquinante e più economica²², rappresenta la chiave per il raggiungimento degli obiettivi di economia circolare.

²⁰Motus-E 2023.

²¹In italiano Livello di maturità tecnologica, indica il grado di sviluppo tecnologico di un prodotto o processo. Valori più alti indicano una maggiore maturità.

²²Zhao et al. 2021.

- L'attività finale di vendita del materiale riciclato chiude il ciclo di vita di una batteria e rappresenta l'effettivo beneficio sia economico sia ambientale. Per far sì che il ciclo si chiuda è necessaria una domanda di materiale riciclato consolidata e soprattutto diversificata. La vendita di metalli preziosi come litio e cobalto trova diverse applicazioni oltre alla produzione di batterie. La riduzione di rischio associata alla diversificazione dei canali di vendita rappresenta un fattore di successo nella creazione di una filiera nazionale di materiale riciclato in grado di diminuire l'instabilità data dall'elevata dipendenza dai mercati esteri.

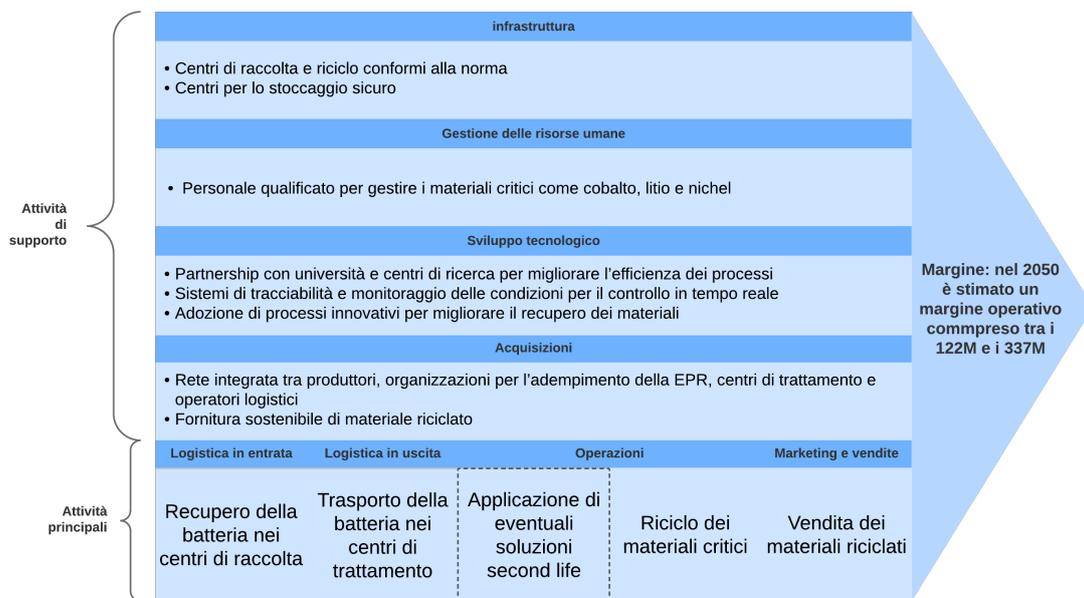


Figura 2.5: Catena del valore

Le attività principali sono organizzate in base a una logica temporale che copre tutte le fasi della gestione del fine vita. Esse sono illustrate nella parte inferiore del diagramma, evidenziando il percorso cronologico dal recupero al riciclo. La presenza di un bordo tratteggiato attorno all'attività relativa alle applicazioni di second life indica il carattere opzionale di questa fase, a seconda delle condizioni

della batteria. Nella zona superiore del diagramma sono rappresentate le attività di supporto. Queste attività non sono disposte in ordine gerarchico e il loro contributo risulta costante lungo l'intero processo di gestione del fine vita. Lo svilupparsi delle attività principali, con il supporto delle infrastrutture adeguate, di risorse umane qualificate, della migliore tecnologia disponibile e di una rete di approvvigionamento consolidata, genera un beneficio sia economico, inteso come margine operativo, sia ambientale grazie alla reimmissione sul mercato di materiali riciclati, evitandone quindi la dispersione nell'ambiente.

Attività dirette

Il momento che determina l'inizio del trattamento del fine vita è il recupero della batteria esausta, in zone adibite a tale funzione e che nell'articolo 61 del Regolamento vengono denominate "Centri di raccolta". La rete è costituita da concessionari e autodemolitori i quali provvedono a estrarre la batteria dal veicolo. La normativa garantisce che queste operazioni non devono rappresentare alcun costo per l'utente finale.

Il secondo momento da analizzare riguarda il trasporto ai centri di trattamento o pretrattamento. Gli operatori logistici incaricati si occupano di prelevare, stoccare e consegnare le batterie. In questa fase il tema principale riguarda le condizioni di sicurezza che il distributore è tenuto a garantire per evitare danni all'ambiente e alle persone. Questa fase è estremamente delicata e complessa. Al momento il trasporto su strada di merci pericolose rispetta i criteri imposti da 3 regolamenti:

- **Modello di regolamento ONU:** insieme di raccomandazioni presentate dal Comitato degli Esperti del Trasporto di Merci Pericolose del Consiglio Economico e Sociale delle Nazioni Unite al fine di garantire la sicurezza sociale e ambientale.

- **Manuale ONU delle prove e dei criteri:** elaborato dal Comitato degli Esperti del Trasporto di Merci Pericolose del Consiglio Economico e Sociale delle Nazioni Unite.
- **ADR:** l'ADR è un accordo fra gli stati membri dell'Unione Europea relativo al trasporto di merci pericolose su strada²³.

Edizione Vigente: ADR 2023

L'ADR in particolare fornisce indicazioni specifiche sulla documentazione, le istruzioni di imballaggio e le modalità etichettatura²⁴.

Di seguito viene presentata una scheda riassuntiva delle modalità di trasporto per le batterie automotive al litio (2.2).

Successivamente si verifica l'eventuale applicazione di soluzioni di rigenerazione o cambio destinazione per le batterie che, a seguito di una valutazione, lo consentono. Se non sarà possibile procedere, cioè se lo State of Health (SoH) risulterà inferiore al 60%, si passerà direttamente al riciclo dei materiali critici. Questo processo verrà approfondito nel capitolo successivo.

Al termine delle operazioni di riciclo, il materiale ricavato viene distribuito sul mercato. Una ricerca condotta da Motus E, Politecnico di Milano, Strategy&²⁵ individua il valore di margine operativo al 2050 all'interno di una fascia che oscilla tra 122 milioni di Euro e 337 milioni di Euro. Questo risultato è stato ottenuto applicando uno sconto al prezzo medio di vendita del materiale riciclato rispetto al prezzo medio del materiale vergine, variabile in base alle condizioni di domanda e offerta:

- Domanda superiore all'offerta: nessuno sconto applicato (0%)
- Domanda inferiore all'offerta: sconto del 20%

²³Nations 2023.

²⁴Ottaviani 2021.

²⁵Motus-E 2023.

Parametro	Descrizione
Si applica a:	Elementi e batterie al litio metallico e litio ionico di peso uguale o superiore a 12 kg con involucro robusto e resistente agli urti trasportate per lo smaltimento o il riciclaggio.
Numero ONU, Denominazione	UN 3090, BATTERIE AL LITIO METALLICO UN 3480, BATTERIE AL LITIO IONICO
Classe	9
Gruppo d’Imballaggio	Non assegnato
Etichetta di Pericolo	 <p>Simbolo di pericolo obbligatorio per il trasporto di batterie al litio</p>
Modalità di Trasporto	ADR
Istruzioni di Imballaggio	Le batterie devono essere imballate in contenitori resistenti agli urti e protette contro cortocircuiti e non necessariamente omologati. È necessario l’uso di materiali di riempimento non conduttivi per evitare movimenti durante il trasporto. L’imballaggio deve essere etichettato correttamente e garantire la tenuta in caso di urti o cadute.
Limiti di Peso	Nessun limite
Codice Galleria	(E)
Categoria di Trasporto	2
Esenzione per quantità totale per unità di trasporto	limite \leq 333 kg peso netto
Marcatura ed Etichettatura dei Colli	UN 3090 oppure UN 3480 BATTERIE AL LITIO PER SMALTIMENTO oppure BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO
Sovrimballaggio	SOVRIMBALLAGGIO + le stesse etichette su riportate
Documenti	Documento di Trasporto

Tabella 2.2: ADR

Attività indirette

Tra le attività di supporto, i centri di raccolta, gli impianti di riciclo e i magazzini per lo stoccaggio sono infrastrutture necessarie per assicurare il rispetto delle norme ambientali e ridurre il rischio causato dalla gestione di materiali pericolosi. Il coinvolgimento di personale qualificato nel trattamento di materiali critici, e anche la presenza di tecnici specializzati negli impianti di riciclo è essenziale per garantire una maggiore efficienza e sicurezza. Le partnership con le università e con i centri di ricerca contribuiscono allo sviluppo tecnologico del settore. Infine, lo sviluppo di processi innovativi per il monitoraggio e la tracciabilità dello stato di salute delle batterie in tempo reale, integrati a un BMS ²⁶ favoriscono la trasparenza e contribuiscono a una gestione efficiente. La fase di recupero e il processo decisionale volto a destinare una batteria esausta ad applicazioni di second life, beneficiano maggiormente di tali sviluppi tecnologici. Inoltre, una rete integrata tra produttori, centri di trattamento e raccolta e operatori logistici facilita l'adempimento della Responsabilità estesa del produttore e assicura una fornitura sostenibile di materiale riciclato.

2.3.2 Flussi operativi ed economici

Le interazioni tra gli attori, nel compimento delle attività inerenti alla gestione del fine vita, vanno a costituire una rete in cui fluiscono informazioni, prodotti e denaro. Distinguiamo quindi tra flussi operativi e flussi economici. Il flusso operativo descrive il movimento delle batterie dalla fase iniziale di estrazione dei materiali vergini fino alla reimmissione nel mercato dei materiali riciclati, ed è direttamente responsabile della creazione di valore, come analizzato precedentemente. Di particolare interesse è la fase di raccolta delle batterie esauste, che può avvenire in due modalità differenti. Da un lato, sono gli stessi utilizzatori a conferire i veicoli

²⁶Battery Management System

a fine vita direttamente agli autodemolitori aderenti ai consorzi responsabili dell’attuazione del principio di Responsabilità Estesa (EPR). Qui le batterie vengono smontate e scaricate in modo sicuro per poi essere trasferite ai centri di pretrattamento. È importante precisare che la normativa garantisce questo meccanismo, obbligando l’autodemolitore ad accettare ogni batteria, purché sia completa e priva di altri rifiuti. Dall’altro lato, i concessionari di uno specifico produttore, si occupano prevalentemente della gestione delle proprie batterie difettose che presentano malfunzionamenti emersi durante i primi anni di vita dei veicoli.

Una volta raccolte, le batterie, non più idonee all’utilizzo vengono attentamente valutate da esperti autorizzati. In ordine, viene prima effettuato un controllo visivo sulla vettura, si determina se questa è “marciante” o se arriva trasportata da un carro attrezzi. Quindi, si determina lo stato dell’auto che può essere “integrata” o “incidentata”. Successivamente si effettuano i controlli sulla batteria: i controlli sono tecnici e servono ad aggiungere informazioni alla valutazione dello stato di salute (SoH). Si raccolgono dati sulla tensione e sulla resistenza della batteria, si valuta se essa presenta rigonfiamenti e se la sua temperatura è conforme allo standard. I dati raccolti vengono inseriti in un modulo fornito dal consorzio di riferimento. Il modulo compilato viene valutato per determinare la condizione della batteria, che può essere classificata come critica o non critica. Se critica, viene imballata in modo specifico e trasportata direttamente all’impianto di riciclo, senza passaggi intermedi. Sia i concessionari che gli autodemolitori hanno 10 giorni di tempo, dal momento della ricezione della batteria, per effettuare le operazioni di bonifica, ovvero la rimozione di rifiuti pericolosi e liquidi.

Gli autodemolitori possono essere gestiti direttamente dai consorzi, con Cobat ed Erion tra i principali attori a livello nazionale. Il lavoro di intermediazione dei consorzi è necessario per creare una rete di autodemolitori in grado garantire una copertura capillare del territorio nazionale, come previsto dal regolamento. Successivamente, sotto la gestione di uno dei consorzi incaricati, il flusso delle batterie

viene indirizzato verso le fasi successive. Attualmente, nonostante la Commissione europea abbia identificato varie alternative, come il ricondizionamento e il cambio di destinazione, la quasi totalità delle batterie viene trasportata in Piemonte, nella provincia di Alessandria, presso l'impianto di pretrattamento RAEE.MAN²⁷. In questa struttura, le batterie sono sottoposte alle operazioni necessarie per l'estrazione della black mass ²⁸, il concentrato di materiali recuperabili, che viene poi trasferito ai centri specializzati nel trattamento chimico e nella rigenerazione dei materiali.

Per quanto riguarda il flusso economico, attualmente, si prevede che sia il produttore, tramite il sistema EPR a finanziare le operazioni di gestione, incluse la raccolta, il trasporto e il trattamento. Questo scenario si traduce in un contributo economico che dal produttore arriva fino agli stabilimenti di riciclo, interamente finanziati tramite i consorzi.

I contratti tra produttori e consorzi nel settore delle batterie si basano sul principio della Responsabilità Estesa del Produttore (EPR), che impone ai produttori di garantire la corretta gestione del fine vita delle batterie immesse sul mercato. Ogni produttore, che può essere una casa automobilistica o qualsiasi altro operatore economico che commercializza batterie, ha due possibilità: gestire autonomamente il sistema di raccolta e trattamento delle batterie esauste o affidarsi a un consorzio. Il contratto con il consorzio prevede due componenti principali: una parte di servizi, attraverso cui il consorzio garantisce il corretto smaltimento delle batterie, e una controparte economica, rappresentata dal contributo ambientale che il produttore deve versare al consorzio. Secondo il regolamento, il contributo economico non può dipendere dalla forza di mercato del produttore, ma varia in base alla chimica e

²⁷RAEE.MAN 2025.

²⁸Il termine "black mass" è utilizzato dall'industria per riferirsi alla miscela di metalli preziosi come nichel, cobalto, manganese e litio che si genera a seguito dei processi di pretrattamento, operati sulle celle delle batterie

alla complessità dello smaltimento delle batterie, pur rimanendo uniformato tra i diversi produttori iscritti.

Prima di sottoscrivere un contratto con un consorzio, i produttori hanno il diritto di ispezionare gli impianti in cui verranno smaltite le loro batterie per verificare che il processo sia conforme alle normative ambientali e di sicurezza. Questo aspetto è particolarmente rilevante per i grandi produttori, i quali devono tutelare la propria immagine ed evitare che le loro batterie finiscano in discariche o vengano trattate in modo non conforme. Inoltre, alcuni produttori impongono vincoli specifici sullo smaltimento, per esempio, richiedendo che le batterie non vengano riutilizzate per evitare la divulgazione di informazioni industriali riservate sulle tecnologie impiegate.

Un altro aspetto contrattuale riguarda la tracciabilità delle batterie smaltite. Alcuni grandi produttori richiedono ai consorzi di fornire report dettagliati sui materiali riciclati e di tracciare le batterie tramite numeri seriali, in modo da integrare questi dati nei propri report di sostenibilità e nelle policy interne.

Dal punto di vista economico, ogni consorzio stabilisce il proprio prezzario, e la scelta del produttore si basa sulla valutazione del rapporto tra prezzo e qualità dei servizi offerti. La competizione tra i 16 consorzi operanti in Italia garantisce un mercato regolato dalla concorrenza, evitando distorsioni sui prezzi. Con l'introduzione del nuovo modello "Pay as you sell", il contributo ambientale verrà pagato interamente al momento dell'immissione della batteria sul mercato, diversamente dal precedente modello "Pay as you collect", in cui il produttore pagava il costo di smaltimento solo al momento del ritiro della batteria esausta. Questo cambiamento, previsto a partire dal 2026, garantirà ai consorzi una maggiore stabilità finanziaria, assicurando che le risorse necessarie per il corretto smaltimento delle batterie siano disponibili anche in caso di fallimento del produttore.

La figura 2.6 sintetizza quanto precedentemente spiegato, fornendo una visione globale delle interazioni tra i vari attori. Il diagramma è suddiviso in due blocchi

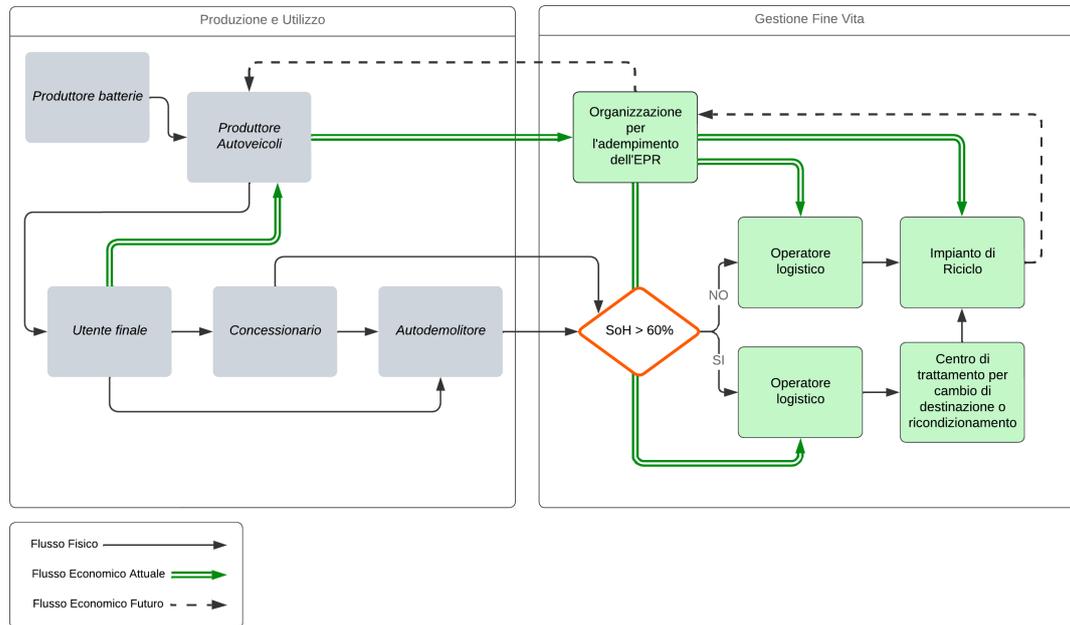


Figura 2.6: Flusso fisico e flusso economico

principali, ciascuno rappresentante una macrofase del ciclo di vita delle batterie: il primo riguarda la produzione della batteria, il successivo assemblaggio nella vettura e l'utilizzo da parte del consumatore, mentre il secondo copre le fasi successive del fine vita come lo stoccaggio, il trasporto e i possibili scenari di recupero. Il flusso fisico e il flusso economico sono supervisionati dall'organizzazione per l'adempimento della responsabilità estesa (EPR), la quale gestisce i punti di raccolta e finanzia le restanti operazioni. Le doppie frecce verdi indicano il flusso di denaro attuale, con il contributo ambientale che viene trasferito lungo la catena attraverso il sistema EPR, per finanziare le operazioni di raccolta, trasporto e trattamento. In uno scenario evoluto, la freccia tratteggiata nel diagramma mostra come questo flusso potrà invertirsi. Infatti, in una prospettiva di lungo periodo, l'obiettivo risulta essere quello di trasformare l'attuale struttura, in una filiera economicamente autonoma, ottimizzando i costi tramite il raggiungimento di economie di scala. Il

passaggio a questo modello si realizzerà quando i materiali riciclati, oltre a rappresentare un costo, acquisiranno un valore economico sufficiente da rendere la gestione del fine vita una opportunità di profitto. In questo scenario futuro i sistemi EPR dovranno occuparsi di gestire i ricavi derivanti dalla vendita di batterie esauste ai sistemi di riciclo, spostando il sistema da un modello basato su un onere economico a uno in cui il produttore trarrà un profitto.

Tuttavia, il passaggio a un modello autosufficiente risulta difficilmente realizzabile nel breve periodo, a causa di diverse problematiche strutturali. Per comprendere queste difficoltà è utile fare riferimento al caso delle batterie al piombo, il cui riciclo viene considerato un modello di economia circolare chiusa. La filiera del piombo vede infatti il consumo e il riciclo in equilibrio per via degli alti tassi di recupero, di un valore di mercato stabile e dell'alta efficienza di processo. Per le batterie al litio il verificarsi di queste condizioni è meno probabile a causa di diversi fattori:

- l'elevata variabilità di chimiche e forme utilizzate per produrre batterie a ioni di litio non facilita i processi di disassemblaggio, pretrattamento e trattamento chimico, rendendo complicato il raggiungimento di economie di scala
- l'elevata complessità dei processi di riciclo più performanti come l'idrometallurgia, che ancora devono raggiungere la maturità tecnologica
- l'elevata variabilità di prezzo del mercato dei metalli preziosi che rende difficile la pianificazione a lungo termine.

Di conseguenza, attualmente, il riciclo delle batterie a ioni di litio non rappresenta un mercato finalizzato al profitto, ma che funziona indipendentemente dalla fattibilità economica dei processi. Il settore è infatti sostenuto dalla regolamentazione europea in esame, che impone ai produttori di sostenere i costi tramite le organizzazioni per l'adempimento dell'EPR. Sostanzialmente il sistema si regge perché l'Unione Europea ha stabilito che qualcuno dovrà sempre pagare, e quel qualcuno

al momento è il produttore. Il produttore a sua volta trasla il contributo ambientale da pagare sul consumatore finale, includendolo nel prezzo del veicolo. Questo meccanismo garantisce che il sistema rimane economicamente sostenibile anche in assenza di sufficienti profitti derivanti dalla vendita di materiale riciclato.

Quando le problematiche sopra descritte diventeranno meno rilevanti, grazie a miglioramenti tecnologici, una migliore standardizzazione dei prodotti e una minore volatilità nel prezzo delle materie prime, potrà avvenire il passaggio a un modello autosufficiente. Il flusso economico futuro, dai centri di riciclo ai produttori, assorbirà la quota di costo legata al contributo ambientale, oggi a carico degli utilizzatori finali, e accelererà la transizione verso la completa elettrificazione del parco auto circolante.

2.3.3 Adeguamento normativo come fattore di successo nella gestione del fine vita

Il contesto definito dal nuovo regolamento colloca la figura del produttore e le organizzazioni per l'adempimento dell'EPR al centro della filiera, aumentandone responsabilità e oneri. Il produttore è quindi attualmente impegnato, in modo diretto o indiretto, nella gestione delle operazioni di raccolta, stoccaggio e riciclo delle batterie. Questa centralizzazione delle responsabilità fa parte di una serie di miglioramenti strategici che il regolamento introduce ma che nei prossimi anni dovranno trovare piena applicazione, con l'obiettivo di raggiungere i livelli di efficienza auspicati e ridurre la dipendenza dalle importazioni.

1. **Creazione di una filiera del riciclo europea:** il regolamento promuove lo sviluppo di una nuova industria del riciclo interna all'Europa, favorendo l'adozione di tecnologie avanzate, capaci di raggiungere gli obiettivi prefissati. Tali obiettivi sono ambiziosi e necessitano di importanti investimenti in ricerca e in infrastrutture, giustificati solo in caso di elevati volumi di vendita.

2. **Sviluppo di partnership strategiche:** A livello nazionale, sarà possibile stipulare accordi tra produttori e altri soggetti coinvolti nella raccolta, quali concessionari, autodemolitori punti di raccolta e centri di stoccaggio. Queste partnership, che da regolamento necessitano la formalizzazione tramite contratti, rappresentano un’opportunità per la realizzazione di una filiera integrata e nazionale del fine vita.

3. **Introduzione di norme di eco-design:** Nell’ottica di favorire lo sviluppo del second life, una volta raggiunto lo standard tecnologico, sarà necessario applicare norme di eco-design volte a favorire il cambio destinazione o la preparazione al riutilizzo. Per eco-design si intende una serie di pratiche volte a progettare e a produrre un oggetto considerando l’intero ciclo di vita, comprese le fasi di gestione del fine vita, rendendo minimi gli impatti sociali e ambientali²⁹. Criteri come flessibilità e modularità sono fondamentali per favorire pratiche di riutilizzo o riparazione³⁰.

Nonostante i significativi miglioramenti apportati, il regolamento presenta alcune lacune che andranno colmate nei prossimi anni per evitare di rallentare il processo di transizione verso una filiera integrata e l’elettrificazione del parco auto. I principali aspetti riguardano:

- La mancata distinzione tra scarti di produzione e rifiuti post-consumo potrebbe portare a inefficienze durante i processi di raccolta e riciclo.

	2023	2030
Post-consumo (kton)	28.4	437.4
Scarti di produzione (kton)	73.7	170

Tabella 2.3: Volumi Europei, Fonte: Avicenne Energy

²⁹ *Ecodesign: nuove regole, dall’efficienza energetica alla riciclabilità*’ 2018.

³⁰ *Ecodesign* 2020.

Come mostra la tabella 2.3, il volume degli sfridi di produzione in Europa è elevato e necessita di linee guida adatte per la corretta gestione.

- L'introduzione di una categoria specifica per le batterie al litio a fine vita. La normativa europea vigente definisce l'Elenco europeo dei rifiuti, in cui ogni tipologia di rifiuto è classificata tramite un codice EER, composto da tre coppie di numeri. La prima coppia, detta classe, indica il settore di origine del rifiuto; la seconda, detta sottoclasse, identifica il processo produttivo da cui proviene; la terza, la categoria, ne descrive il nome o la tipologia. Per le batterie agli ioni di litio, il codice EER è 160605, così suddiviso: classe 16, "RIFIUTI NON SPECIFICATI ALTRIMENTI NELL'ELENCO"; sottoclasse 06, "BATTERIE ED ACCUMULATORI"; categoria 05, "Altre batterie ed accumulatori". Tuttavia, nonostante i noti rischi di incendio e la difficoltà di spegnimento, questa classificazione le identifica come "Non Pericolose".
- L'adozione di target di recupero dei materiali che siano dinamici e quindi in grado di adattarsi allo sviluppo tecnologico. Un approccio di questo genere consentirebbe di mantenere un equilibrio tra riciclo e second-life, evitando che la maggior parte dei volumi sia indirizzato esclusivamente a riciclo.
- Quando la tecnologia lo permetterà, l'introduzione di norme che incoraggiano il riutilizzo delle batterie in applicazioni come i sistemi di accumulo e le infrastrutture di ricarica. Queste soluzioni permettono infatti di aumentare il valore generato lungo l'intero ciclo di vita di una batteria e di ridurre i volumi che prematuramente vengono destinati a riciclo.
- L'introduzione di certificati di garanzia e qualità per i materiali riciclati, così da favorirne l'utilizzo in altri ambiti, diversificando la filiera e mantenendo stabile la domanda.

2.4 Il Flusso Informativo

Nel contesto di economia circolare è centrale il tema della comunicazione dei dati, la quale deve avvenire in maniera trasparente ed esaustiva, su tutti i livelli della catena. L'obiettivo è migliorare la gestione del fine vita tramite l'implementazione di alcune soluzioni tecnologiche, tra cui il passaporto digitale. All'interno delle informazioni che devono circolare e che il regolamento prende in esame, si distinguono due categorie:

- Le informazioni relative alla filiera, compresi tutti i soggetti che operano a monte
- Le informazioni riguardanti la singola batteria

2.4.1 Modalità di comunicazione dei dati

Le modalità di comunicazione si articolano su due livelli differenti seguendo la stessa logica applicata per le diverse tipologie di informazioni.

Per quanto riguarda le informazioni sulla filiera, l'articolo 49 del presente regolamento stabilisce che l'operatore economico, precedentemente definito, deve necessariamente istituire e gestire sistemi di controllo lungo tutta la catena di approvvigionamento. È incluso anche un sistema di tracciabilità, con l'obiettivo di sostenere pratiche di approvvigionamento sostenibile, mitigando i rischi lungo le fasi di estrazione e manipolazione delle materie prime critiche.

Per quanto riguarda le informazioni sulla singola batteria, il regolamento ha indicato i futuri sviluppi che le aziende saranno tenute a rispettare per aderire alla normativa. A partire da Agosto 2024 le informazioni relative allo State of Health e alla durata di vita prevista dovranno essere contenute nel BMS, ovvero il sistema di gestione delle batterie. L'accesso in sola lettura a questi dati, sarà consentito, nel rispetto della privacy del fabbricante, a chiunque acquisti la batteria in maniera

legale. Proseguendo temporalmente, da febbraio 2025 sarà necessario accompagnare la batteria con la relativa dichiarazione sull'impronta di carbonio, mentre, da Agosto 2026, ogni batteria dovrà essere dotata di una etichetta contenente le informazioni generali, specificate negli allegati. La svolta tecnologica avverrà a partire da Febbraio 2027, quando queste informazioni dovranno essere integrate e rese disponibili tramite il passaporto digitale. Questo dovrà essere accessibile tramite un QR code stampato sulla batteria, permettendo un accesso diretto e immediato ai dati tecnici e relativi alla sostenibilità.

2.4.2 Il passaporto digitale

Il passaporto digitale è parte di un più ampio quadro normativo europeo, definito dall'Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR), che segna una serie di pratiche necessarie per raggiungere gli obiettivi di economia circolare. L'ESPR introduce infatti la classe dei DPP, ovvero i Digital Product Passport: identità digitali per prodotti e materiali, interoperabili e facilmente accessibili.

La sua introduzione porta numerosi vantaggi in termini di efficienza e trasparenza. Il costante controllo della vita residua facilita la raccolta e il dimensionamento dei flussi diretti ai diversi centri operativi. Possedere tutte le informazioni dettagliate sui materiali critici contenuti e sulla composizione chimica, consente di migliorare la sicurezza durante le fasi di stoccaggio, trasporto e di riciclo. Tuttavia, sono diversi gli aspetti non chiariti dal regolamento sul quale la Commissione europea dovrà esprimersi:

- **Frequenza di aggiornamento dei dati e precisione degli algoritmi:**
Non è stata chiarita la cadenza con la quale si dovranno aggiornare i dati sulle piattaforme online e con quale livello di esattezza verranno condivise tali stime.

- **Costo di implementazione:** Secondo alcune stime il costo di un passaporto si aggira tra i 7 euro e i 13 euro per batteria³¹. Questa alta variabilità è causata dalla mancanza di una precisa metodologia per il calcolo del costo di produzione e gestione.
- **Livello di accessibilità e dettaglio:** per ottenere valori utili nelle fasi di riciclo e rifabbricazione, sono necessari i dati ricavati dal monitoraggio del modulo di batteria. Tuttavia, la maggior parte dei dati condivisi riguarda il pacco batteria, più esterno. La condivisione di tali informazioni dovrà inoltre essere accompagnata da un elevato livello di sicurezza per la tutela dei dati sensibili.

³¹Autocar 2024.

Capitolo 3

Analisi dell'Infrastruttura Logistica Attuale per il Riciclo delle Batterie

La gestione delle batterie a fine vita rappresenta una sfida complessa soprattutto dal punto di vista logistico e organizzativo. Le operazioni che devono essere effettuate su una batteria esausta prima che questa risulti pronta per il trasporto e per il riciclo sono estremamente complesse. Tali operazioni possono essere svolte solo da poche strutture esperte e con le giuste autorizzazioni e strumentazioni. Infatti, in Italia l'attuale sistema è caratterizzato da un numero molto limitato di autodemolitori autorizzati ad accettare batterie al litio in ingresso e da un solo impianto di pretrattamento, incapaci di rispondere al significativo aumento dei volumi di ritorno che si verificherà nei prossimi anni.

L'obiettivo di questo capitolo è fornire una visione dettagliata dello stato attuale dell'infrastruttura, evidenziandone le principali criticità e inefficienze. L'analisi prenderà in esame tre aspetti fondamentali:

1. la distribuzione geografica degli autodemolitori e degli impianti e il conseguente impatto sui costi di trasporto.
2. Le capacità operative degli impianti presenti, rispetto ai volumi attesi
3. Le inefficienze economiche causate da un modello di gestione dei flussi poco ottimizzato.

3.1 Le fasi del riciclo

3.1.1 Preselezione e Scarica

La prima fase del trattamento delle batterie prevede la raccolta e la scarica controllata della batteria. La fase di preselezione serve ad isolare la batteria dal resto del veicolo, disassemblandola attraverso il punto di accessibilità presente o sul fondo auto per i modelli BEV o nel vano posteriore nei modelli ibridi. La preselezione della batteria viene effettuata dagli stessi autodemolitori che si occupano della raccolta, in grado di effettuare in sicurezza tale fase. Smontare una batteria da un veicolo richiede numerose accortezze in termini di sicurezza come l'utilizzo di dispositivi di protezione individuale e la verifica del propagarsi di correnti parassite nel veicolo o nella batteria stessa. Una volta rimossa l'elettronica e scollegato il sistema di raffreddamento la batteria affronta la fase di scarica. Durante il suo utilizzo, una batteria viene sottoposta a numerosi cicli di carica e scarica e lo State of Charge, precedentemente introdotto, oscilla costantemente tra il 100% e lo 0%, che tuttavia non corrisponde all'effettiva scarica completa. La batteria, anche se virtualmente scarica, in realtà mantiene una tensione, definita tensione di cut-off e pari circa a $2,5V^1$, che rappresenta un rischio di shock elettrico per chi deve successivamente effettuare le operazioni di disassemblaggio. L'effettiva scarica completa

¹Motus-E 2023.

sì può ottenere attraverso l'applicazione di diversi metodi. Il più adatto all'applicazione industriale risulta essere l'immersione della batteria in una soluzione salina. Infatti, l'effetto combinato dell'elettrolisi e del corto circuito procede a scaricare la batteria².

3.1.2 Disassemblaggio e Pretrattamento

Per fase di disassemblaggio si intende la separazione del modulo di batteria dal pacco, ovvero la rimozione di quelle sovrastrutture che costituiscono l'involucro più esterno e parte del sistema elettronico. A seconda della chimica e della forma utilizzata il pacco batteria rappresenta tra il 16% e il 22% del peso totale³, con la quota parte più significativa coperta dall'alluminio. La grande variabilità di batterie presenti sul mercato rende difficile l'implementazione di soluzioni completamente automatizzate per il disassemblaggio, che quindi viene effettuato manualmente. L'introduzione di norme di eco-design e lo svilupparsi di uno standard industriale per la produzione di batterie al litio migliorerà l'efficienza di questo processo e diminuendo di molto il tempo dedicato. I componenti strutturali come l'alluminio o le parti di elettronica ricavate vengono poi dirette a filiere consolidate per il recupero. Il pretrattamento, come si evince dal nome, precede le fasi di trattamento chimico e ha come output la black mass, un misto di polveri catodiche e anodiche da cui andranno poi estratti i metalli target. Allo stato dell'arte per questa fase esistono diverse soluzioni applicabili, ognuna con costi e tassi di efficienza diversi. In letteratura si possono trovare esempi di trattamento meccanico, chimico, termico o anche soluzioni miste⁴⁵. Il trattamento meccanico, o frantumazione, è ampiamente diffuso nel riciclo di rifiuti e apparecchiature elettroniche e di conseguenza presenta

²Ojanen et al. 2018.

³Haiki-Cobat 2024.

⁴Motus-E 2023.

⁵Zhang et al. 2018.

un tasso di adozione elevato anche nel caso specifico delle batterie a ioni di litio. Sfruttando processi puramente meccanici e le proprietà dell'anodo e del catodo si riesce a separare queste componenti dal resto della cella. I costi bassi di investimento permettono il raggiungimento di economie di scala, la soluzione non garantisce i migliori tassi di efficienza. Infatti, in un processo puramente meccanico, senza l'uso di solventi chimici, il rischio è quello di avere una black mass contaminata. Al contrario, i processi alternativi rappresentano soluzioni qualitativamente più efficienti e costose. Il pretrattamento termico applica elevate temperature (600-800°C) con lo scopo di liberare la black mass, ma risulta altamente energivoro e ambientalmente nocivo a causa della produzione di gas di scarico dalla combustione di carbonio e composti organici. Il pretrattamento chimico risulta meno aggressivo come processo ma altamente instabile e difficile da controllare. Numerosi fattori come la qualità dei materiali in ingresso e la qualità dei solventi utilizzati influiscono sulla resa del processo⁶. Al momento la soluzione più efficiente è uno scenario misto, meccanico e chimico, che risulta al contempo adatto ad applicazioni industriali.

3.1.3 Trattamento chimico

Una volta estratta la black mass, l'ultima fase consiste nel separare e rigenerare i metalli preziosi in essa contenuti. I processi attualmente conosciuti e implementabili sono principalmente due: la pirometallurgia e la idrometallurgia. La pirometallurgia si basa sull'utilizzo di alte temperature per fondere e separare i metalli dal resto delle componenti come l'anodo e l'elettrolita. Generalmente, il processo si divide in 2 momenti⁷:

- **Fusione:** In questa fase i materiali vengono prima miscelati con agenti riducenti, come il carbonio, e successivamente sottoposti ad alte temperature.

⁶Zhang et al. 2018.

⁷Lan et al. 2025-02.

Prendendo come esempio il modello di UMICORE, azienda leader a livello mondiale nel recupero dei metalli tramite pirometallurgia, il composto entra in una fornace e attraversa tre distinte zone, riscaldate a tre differenti temperature: la zona di preriscaldamento a 300°C, la zona di pirolisi a 700°C in cui vengono incenerite le parti plastiche e infine la zona di fusione a oltre 1200°C.

- Recupero dei metalli: l'output della fusione è una lega metallica formata da Nichel, Cobalto, Rame e Ferro e uno scarto composto dagli altri materiali come il litio, l'alluminio, il silicio e il carbonio.

La pirometallurgia è un processo altamente diffuso soprattutto nel mondo occidentale per via della possibilità di trattare grandi volumi in un'unica fase e quindi permettendo l'applicazione su larga scala. Inoltre, i materiali considerati di scarto di questo processo seguono una filiera consolidata ad esempio nel settore delle costruzioni. Tuttavia, l'evoluzione tecnologica ha evidenziato come il processo pirometallurgico non sia in grado di offrire gli auspicati livelli di efficienza, a fronte di un elevato consumo energetico. Inoltre, è da sottolineare l'impossibilità di recuperare il litio, che si lega alle scorie di processo e la necessità di ulteriori trattamenti per purificare i metalli recuperati e renderli riutilizzabili.

L'idrometallurgia prevede l'utilizzo di soluzioni acquose per estrarre i metalli preziosi presenti nella black mass. Anche in questo caso il processo può essere suddiviso in 2 momenti:

- Liscivazione acida: All'inizio la black mass viene trattata con acidi inorganici ⁸ o acidi organici ⁹, in combinazione con agenti riducenti, come il perossido di idrogeno, per far sì che i metalli vengano dissolti in forma ionica.

⁸H₂SO₄ HCl HNO₃

⁹Acido citrico: C₆H₈O₇ Acido malico: C₄H₆O₅ Acido ossalico: C₂H₂O₄
 Acido acetico: CH₃COOH Acido ascorbico: C₆H₈O₆

- Recupero dei metalli: successivamente, i metalli disciolti vengono separati e recuperati attraverso una serie di metodi chimici, come la precipitazione, l'estrazione con solventi e la deposizione elettrolitica¹⁰.

Il processo idrometallurgico, sebbene più articolato, mostra una più elevata efficienza nel recupero dei materiali rispetto alla pirometallurgia e una maggiore flessibilità alle numerose chimiche presenti sul mercato. L'utilizzo di solventi e non di alte temperature che portano alla combustione, comporta un basso impatto a livello di emissioni atmosferiche. Tuttavia, il processo produce come scarti ingenti quantità di soluzioni liquide acide, difficili da smaltire. Il trattamento specifico di queste soluzioni rende più complessa l'applicazione su larga scala. La tabella 3.1 mostra un confronto diretto tra i due differenti processi, evidenziando aspetti chiave come l'efficienza di recupero e l'impatto ambientale.

Aspetto	Idrometallurgia	Pirometallurgia
Efficienza di recupero	<ul style="list-style-type: none"> • Fino al 100% per il litio • 98% per il cobalto • 96% per il nichel • 99% per il manganese 	<ul style="list-style-type: none"> • >80% per il cobalto • 95% per il nichel • 95% per il rame
Purezza dei prodotti	Molto alta (oltre il 95%)	Moderata, richiede ulteriori trattamenti
Consumo energetico	Medio (energia chimica)	Alto (energia termica)
Impatto ambientale	Produzione di rifiuti liquidi acidi, necessità di trattamento	Alte emissioni di CO ₂ e produzione di scorie solide
Flessibilità	Elevata, adatta a diverse chimiche (NMC, NCA, LFP)	Limitata, ottimale per materiali metallici pesanti (Co, Ni)

Tabella 3.1: Confronto tra idrometallurgia e pirometallurgia

¹⁰Lan et al. 2025-02.

Gran parte delle soluzioni descritte in letteratura riguardano esperimenti di laboratorio, la cui implementazione a livello industriale potrebbe risultare complessa. Ad esempio, nei processi di liscivazione la scelta degli acidi è un tema delicato in termini di costo e sicurezza, e nei processi pirometallurgici, l'utilizzo di alte temperature e l'emissione di gas a seguito dei processi di combustione va gestito delicatamente. Come nel caso del pretrattamento, l'applicazione di soluzioni ibride, potrebbe rappresentare una valida alternativa in grado di contenere i costi, permettendo una applicabilità su larga scala e ottimi tassi di efficienza.

3.2 Raccolta e rappresentazione dei dati

La raccolta e la rappresentazione dei dati è il primo fondamentale passo per la valutazione della rete infrastrutturale italiana relativa alla gestione del fine vita. Questo processo consente di andare a delineare i volumi di ritorno, la posizione geografica della rete di autodemolitori e di impianti e la capacità di trattamento installata e di valutare come questi aspetti interagiscono tra loro. L'obiettivo principale della raccolta dati è quello di fornire una base conoscitiva solida, da applicare all'analisi degli scenari attuali e futuri. In questo modo si potranno identificare le carenze strutturali e possibili punti di miglioramento, nel rispetto del regolamento vigente¹¹.

I dati sono stati ricavati tramite il ricorso a fonti ufficiali e a fonti secondarie, come banche dati e report nazionali sulla gestione dei rifiuti. Tra le principali fonti di dati utilizzate si segnala la collaborazione con Haiki-Cobat, consorzio nazionale incaricato della gestione dei rifiuti, che ha fornito l'accesso a preziosi dati aziendali relativi ai flussi di raccolta e trattamento delle batterie a fine vita. Questa collaborazione è stata ulteriormente arricchita da diverse interviste strutturate e informali

¹¹European Parliament and Council 2023.

condotte con membri chiave del team di ricerca e sviluppo e del team operativo del consorzio. Tali interviste hanno permesso di approfondire:

- La configurazione attuale dei flussi logistici e dei rapporti tra gli attori della filiera.
- Le criticità e le opportunità legate alla gestione delle batterie a fine vita.
- Le dinamiche di interazione tra autodemolitori, centri di stoccaggio e impianti di pretrattamento.

Questi contributi hanno fornito informazioni qualitative e quantitative essenziali per l'individuazione delle principali aree operative sul territorio e per la mappatura delle infrastrutture attuali.

3.2.1 Calcolo dei volumi di ritorno

Per modellare e valutare economicamente gli scenari di riciclo, è fondamentale partire dalla quantificazione del mercato, stimando i volumi di rientro delle batterie elettriche a fine vita. Per tale studio sono state prese in considerazione le batterie dei veicoli elettrici (BEV) e dei veicoli elettrici ibridi plug-in (PHEV). Entrambi i veicoli sono progettati per la trazione esclusivamente elettrica, ma nel caso PHEV è prevista la presenza di un motore a combustione, oltre quello elettrico, con lo specifico compito di ricaricare la batteria in situazioni di potenza insufficiente. Dato che la vita utile di una batteria è compresa tra i 10 e i 12 anni, sono state prese in esame le immatricolazioni tra il 2013 e il 2024, così da poter stimare i volumi di ritorno fino al 2034 (Tabella 3.2)¹²¹³.

Assumendo un peso medio per le batterie di veicoli elettrici pari a 400 kg e per le batterie di veicoli ibridi plug-in pari 100 kg, è stato calcolato l'immesso di

¹²UNRAE 2022.

¹³UNRAE 2024.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PHEV	200	369	889	1.444	2.889	4.963	6.449	27.431	69.529	67.332	70.188	52.720
BEV	864	1.100	1.452	1.377	2.020	4.998	10.666	32.491	67.267	49.165	66.679	65.989

Tabella 3.2: Dati di immatricolazione dal 2013 al 2024. Fonte: UNRAE

batterie, espresso in tonnellate. (Tabella 3.3).

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
PHEV [t]	20	37	89	144	289	496	645	2.743	6.953	6.733	7.019	5.272
BEV [t]	346	440	581	551	808	1.999	4.266	12.996	26.907	19.666	26.672	26.396

Tabella 3.3: Batterie (tonnellate) immesse dal 2014 al 2024.

Per procedere con la quantificazione dei volumi di ritorno, sono state effettuate le seguenti assunzioni:

- **Vita utile:** La batteria è considerata a fine vita con uguale probabilità al decimo, undicesimo e dodicesimo anno.
- **Auto incidentate e ritirate:** è stato considerato l'1% dell'immesso per i primi nove anni di vita del veicolo

Il risultato è rappresentato in figura 3.1.

Per garantire un quadro completo e più dettagliato, la stessa analisi è stata ripetuta suddividendo il territorio nazionale in macroaree geografiche:

- Italia Settentrionale
- Italia Centrale
- Italia Meridionale
- Italia Insulare

L'approccio è motivato dalla necessità di tenere in considerazione le disparità nazionali in termini di immatricolazioni e, come vedremo successivamente, in relazione

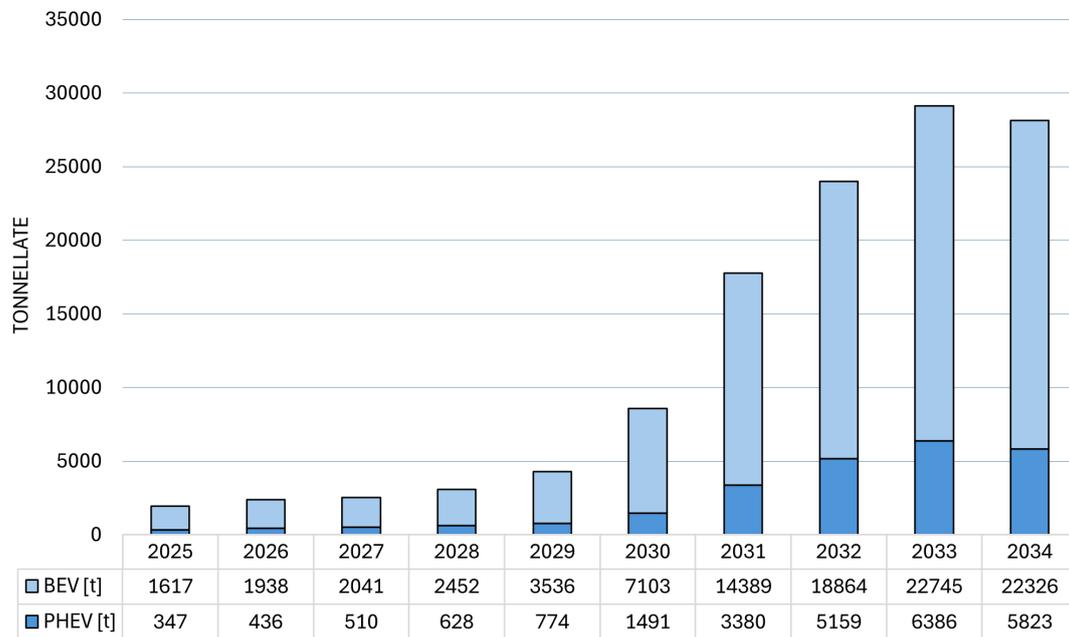


Figura 3.1: Volumi di ritorno batterie Li-Ion

al numero di autodemolitori presenti. La quantificazione dei flussi di ritorno, divisi per macroaree, necessita di una ulteriore assunzione:

- Gli autoveicoli arrivano a fine vita nella stessa macroarea in cui vengono immatricolati.

Moltiplicando i dati sulle immatricolazioni, divise per anno e per regione, con le percentuali di vetture BEV e PHEV sul totale nazionale, sono stati ricavati i risultati in figura 3.2.

Da una prima osservazione della figura 3.2 si evidenzia una distribuzione significativamente squilibrata dei volumi di ritorno delle batterie a fine vita, con oltre il 60% del totale concentrato nell'Italia Settentrionale. Questo dato è giustificato dal fatto che la macroarea settentrionale occupa una posizione predominante rispetto al resto d'Italia in termini di densità abitativa, industrializzazione, presenza di flotte aziendali e veicoli commerciali, che contribuiscono ai maggiori volumi di ritorno.

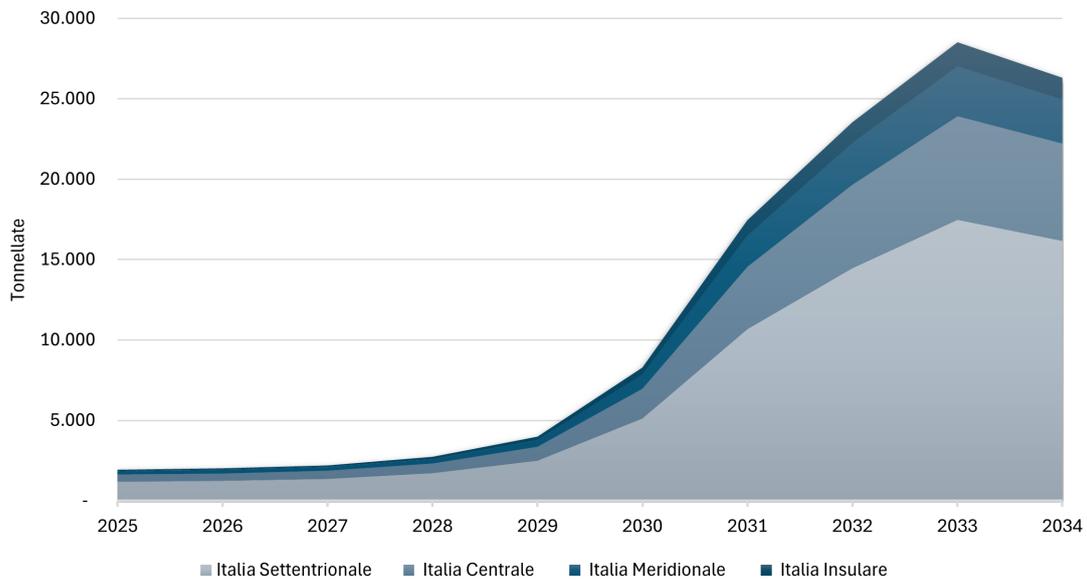


Figura 3.2: Volumi di Ritorno batterie Li-Ion per Macroarea

3.2.2 Rete di Autodemolitori e Impianti

Per rappresentare la situazione in Italia, viene fatto riferimento alla rete di autodemolitori costituita da Haiki-Cobat, all'interno del progetto Cyclus¹⁴. Tale rete, formata da 164 autodemolitori, si configura come la più grande in Italia ed esemplificativa per l'intero contesto nazionale. La distribuzione delle strutture aderenti al progetto cyclus di Haiki-Cobat è descritta in tabella 3.4, dove per ogni regione è indicato il numero di autodemolitori presenti. La distribuzione segue lo stesso andamento dei volumi di ritorno attesi, con circa il 55% del totale concentrato al Nord.

Gli autodemolitori aderenti al progetto rappresentano di fatto una risorsa essenziale per la gestione sostenibile dei veicoli a fine vita, garantendo la totale copertura sul territorio nazionale. Grazie alla distribuzione speculare ai volumi di ritorno attesi, al momento il progetto Cyclus riesce a soddisfare la domanda di trattamento

¹⁴Riciclo 2025.

Regione	Num. Autodemolitori
Valle d'Aosta	1
Piemonte	20
Liguria	3
Lombardia	25
Emilia-Romagna	18
Trentino-Alto Adige	3
Veneto	15
Friuli-Venezia Giulia	4
Totale Italia Settentrionale	89
Toscana	8
Marche	5
Umbria	3
Lazio	8
Totale Italia Centrale	24
Abruzzo	5
Molise	0
Campania	19
Puglia	6
Basilicata	2
Calabria	7
Totale Italia Meridionale	39
Sicilia	8
Sardegna	4
Totale Italia Insulare	12
Totale Generale	164

Tabella 3.4: Distribuzione degli autodemolitori in Italia - Progetto Cyclus

di veicoli dismessi.

Tuttavia, se da un lato la rete di autodemolitori risulta adeguata, la situazione è diversa per quanto riguarda le infrastrutture dedicate alle fasi successive, di pretrattamento e trattamento chimico.

In Italia, allo stato attuale, è operativo un unico impianto, situato a Sale in provincia di Alessandria. Questa struttura, con una capacità annuale di circa 2000 Tonnellate, svolge le fasi di disassemblaggio e pretrattamento, mirato alla produzione della black mass. Tuttavia, a causa dell'assenza di impianti specializzati nella

rigenerazione dei materiali, tramite le tecniche di pirometallurgia o idrometallurgia precedentemente descritte, la black mass prodotta viene esportata all'estero. Nel 2025 aprirà a Pollutri, in provincia di Chieti, un secondo impianto destinato alle fasi di pretrattamento, ma con possibilità di essere convertito anche al trattamento chimico per la rigenerazione dei metalli. Una volta entrato a regime, l'impianti di Pollutri avrà una capacità di trattamento pari a 3000 tonnellate l'anno, portando la capacità complessiva nazionale a 5000 tonnellate annue.



Figura 3.3: Autodemolitori



Figura 3.4: Impianti

Le figure 3.3 e 3.4 mostrano la distribuzione geografica sul territorio nazionale degli autodemolitori e degli impianti. Per quanto riguarda gli impianti, in blu sono rappresentati le strutture attualmente operative mentre in verde le aperture previste.

3.2.3 Costi di trasporto

I costi variabili del trasporto rappresentano una quota parte molto rilevante nella totalità dei costi logistici. La prima assunzione da fare per la determinazione

delle voci di costo riguarda il mezzo di trasporto di riferimento. Attualmente gli operatori logistici che collaborano con Haiki-Cobat sono 3, di cui uno specifico per la Sardegna. I mezzi da loro utilizzati rientrano nella categoria Veicoli di classe di peso C, ovvero un semirimorchio che può pesare fino a 19 tonnellate e un trattore motrice di peso medio 7,5 tonnellate. Facendo riferimento al documento ministeriale relativo ai costi di esercizio delle imprese italiane di autotrasporto merci per conto di terzi¹⁵, pubblicato il 10 dicembre 2024, sono state individuate e analizzate le seguenti principali voci di costo:

- Automezzo: Per calcolare il costo dell'automezzo si è fatto riferimento ai valori relativi all'acquisto di veicolo, rimorchio e semirimorchio, all'acquisto degli pneumatici con una vita utile stimata di 50.000km, alle operazioni di manutenzione e ai costi legati a bollo, revisione e assicurazione.
- Costo personale: il costo del personale risulta essere la somma di stipendio, indennità di trasferta e straordinari.
- Altro: ulteriori criteri da prendere in considerazione riguardano il costo dell'energia e i pedaggi autostradali.

Dalla scheda pubblicata dal ministero, relativamente alla classe C, sono stati estratti i valori presentati in tabella. I dati si riferiscono alla spesa per chilometro.

Categoria	Valore Minimo	Valore Massimo
Automezzo	0,53 €	2,71 €
Personale	0,37 €	0,61 €
Altro	0,55 €	0,84 €
Totale	1,45 €	4,16 €

Tabella 3.5: Costi minimi e massimi per chilometro

Nel caso di batterie in stato critico, ovvero provenienti da veicoli incidentati o che presentano anomalie quali fumo, rigonfiamenti o segni di combustione, il

¹⁵Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2024.

costo sarà maggiorato del 33% per coprire le spese necessarie all’adozione di un imballaggio di sicurezza specifico.

3.3 Scenario Attuale

L’attuale organizzazione infrastrutturale italiana, come emerge dai dati raccolti, evidenzia una gestione non ottimizzata, se non dal singolo operatore logistico incaricato di una specifica spedizione. Attualmente il modello prevede che, una volta ricevuta la richiesta da parte di un autodemolitore che ha preso in carico una batteria a fine vita, il consorzio responsabile di quel determinato rifiuto organizzi una spedizione dedicata, per il trasporto allo stabilimento di Sale, in Piemonte. Sebbene questo sistema risulti semplice dal punto di vista organizzativo, genera inefficienze sia a livello economico che ambientale.

Per procedere con l’analisi, è stata calcolata la distanza stradale in km e il tempo medio di percorrenza, fino al centro di Sale, per ciascuno dei 164 autodemolitori. I dati sono stati acquisiti tramite l’API di Google Cloud Maps Platform, in particolare la “Distance Matrix API” e fanno riferimento ai percorsi ottimizzati calcolati dalla piattaforma stessa.

Il grafico 3.5 mostra la correlazione tra la distanza percorsa e il tempo medio di percorrenza. La correlazione risulta quasi perfettamente lineare tra i due parametri, con poche anomalie distanti dalla tendenza generale. In particolare, sono stati identificati 4 outlier relativi ai trasporti dalla regione Sardegna. Questi punti sono significativamente distanti dagli altri dati, poiché l’uso dei traghetti allunga notevolmente il tempo di percorrenza. Al fine di condurre un’analisi più precisa, sono stati esclusi dal calcolo i dati in questione.

Dai dati raccolti emerge quindi che la distanza media percorsa e il tempo medio di percorrenza variano notevolmente a seconda dell’area geografica di provenienza. In particolare:

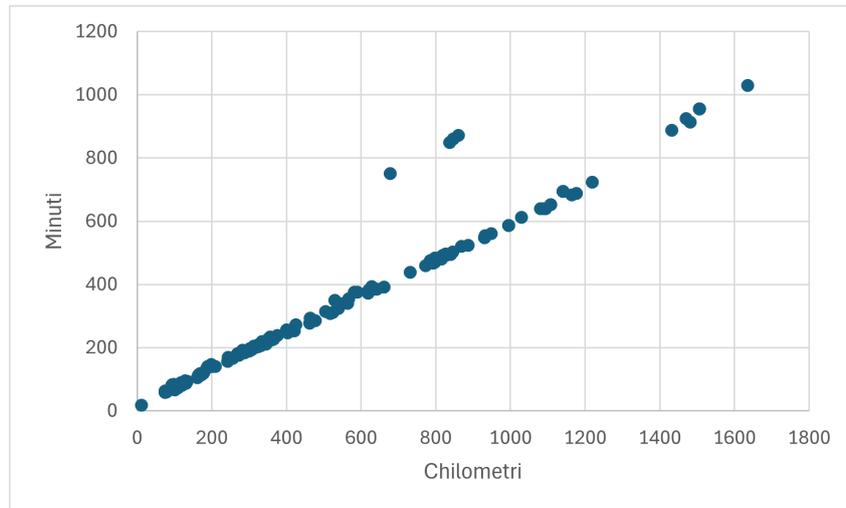


Figura 3.5: Correlazione tra Distanza Percorsa e Tempo di Percorrenza

- Italia Settentrionale: Le batterie percorrono in media **201 km**, con un tempo medio di trasporto di **2,2 ore**
- Italia Centrale: la distanza media percorsa aumenta a **490 km**, con un tempo medio di percorrenza di **5,1 ore**
- Italia Meridionale compresa la Sicilia: la distanza media raggiunge **996 km** e il tempo medio di trasporto arriva a **10 ore**

Risulta evidente, anche osservando la figura 3.6, come l'organizzazione dei trasporti dalle regioni del Sud Italia è notevolmente più complessa e costosa, dovendo percorrere distanze maggiori. Questa situazione comporta un incremento dei costi logistici, un maggior consumo di carburante e un impatto ambientale significativo in termini di emissioni di CO₂. Un ulteriore fattore che impatta notevolmente l'efficienza della fase di trasporto è il basso coefficiente di carico con cui viaggiano i camion. Poiché le batterie vengono spedite direttamente dagli autodemolitori, se necessario tramite trasporti dedicati, i camion sono spesso sotto carichi. Questo si traduce in un aumento del costo unitario di trasporto, dovuto al gran numero di viaggi effettuati e dalla mancanza di un sistema di consolidamento dei carichi.



Figura 3.6: Scenario As Is

Per quanto riguarda il coefficiente di carico, data la tipologia di mezzi di trasporto utilizzati, si identificano i seguenti 3 scenari:

- Worst Case scenario: il camion viaggia con una sola batteria, raggiungendo elevati livelli di inefficienza
- Best Case scenario: il camion viaggia Full Load, ovvero completamente carico trasportando fino a 20 Tonnellate di batterie a fine vita.
- Valore Medio Osservato: in media, un camion trasporta circa 1 Tonnellata per viaggio.

Incrociando il coefficiente medio di carico con le stime sui volumi di ritorno attesi, è possibile determinare il numero di viaggi necessari ogni anno e il totale dei chilometri percorsi dai camion impiegati nel trasporto di batterie esauste. Non vengono calcolati nell'analisi i viaggi di ritorno. È estremamente frequente che gli operatori logistici incaricati del trasporto di batterie esauste, siano integrati in altre filiere e collaborino al trasporto di altri rifiuti RAEE. Questo permette di evitare viaggi di ritorno a vuoto. Di conseguenza, l'analisi prende in considerazione solo il trasporto diretto della batteria, non interferendo con dati di ulteriori filiere.

$$\text{Totale km percorsi per anno } i = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{V_{ij}}{C} \times d_j \right) \quad (3.1)$$

Dove:

- i rappresenta gli anni dal 2025 al 2034.
- j rappresenta le macroaree:
 1. Italia settentrionale
 2. Italia centrale
 3. Italia meridionale + Italia insulare
- V_{ij} è il volume di ritorno nell'anno i e nella macroarea j .
- C è il coefficiente di carico.
- d_j è la distanza media percorsa dalla macroarea j .

Inoltre, assumendo il costo per chilometro invariato, secondo i valori in tabella 3.5, vale la seguente relazione:

$$\text{Costo medio per tonnellata nell'anno } i = \frac{\text{Totale km percorsi per anno } i \times P}{T_i} \quad (3.2)$$

Dove:

- i rappresenta gli anni dal 2025 al 2034.
- P è il prezzo per km.
- T_i è il totale delle tonnellate di ritorno nell'anno i .

Di seguito, risultati ottenuti:

- I chilometri percorsi ogni anno crescono proporzionalmente al crescere dei volumi, passando da 707.522 km nel 2025 a 9.729.513 km nel 2034
- Il costo per tonnellata risulta leggermente variabile e mediamente compreso tra 540 € e 1549 €. La forbice individuata è ampia a causa dell'alta variabilità nei costi di trasporto, i quali dipendono da innumerevoli fattori. Tuttavia, nel caso specifico delle batterie, essendo necessarie maggiori accortezze, la tendenza è di avere costi più vicini al valore massimo.

L'analisi condotta sulla rete di autodemolitori e i relativi trasporti mostra solo una parte del sistema. La fase successiva riguarda il pretrattamento e la relativa capacità degli impianti.

Dall'osservazione dei volumi di ritorno previsti risulta evidente come la soglia operativa degli impianti attualmente esistenti verrà rapidamente superata, generando un potenziale collo di bottiglia nel trattamento delle batterie esauste. L'unico impianto attualmente in funzione è quello situato a Sale con una capacità annuale installata di 2000 tonnellate l'anno. Tuttavia, come mostrato dalle stime sui volumi di ritorno, le tonnellate da trattare saranno superiori al valore soglia già nel 2026, per poi crescere a oltre 8.500 nel 2030 e a 28.000 nel 2034, mostrando la necessità di ingenti investimenti. L'insufficiente capacità operativa si traduce in un problema sia di tipo logistico per via dell'esigenza di organizzare spedizioni all'estero, sia di

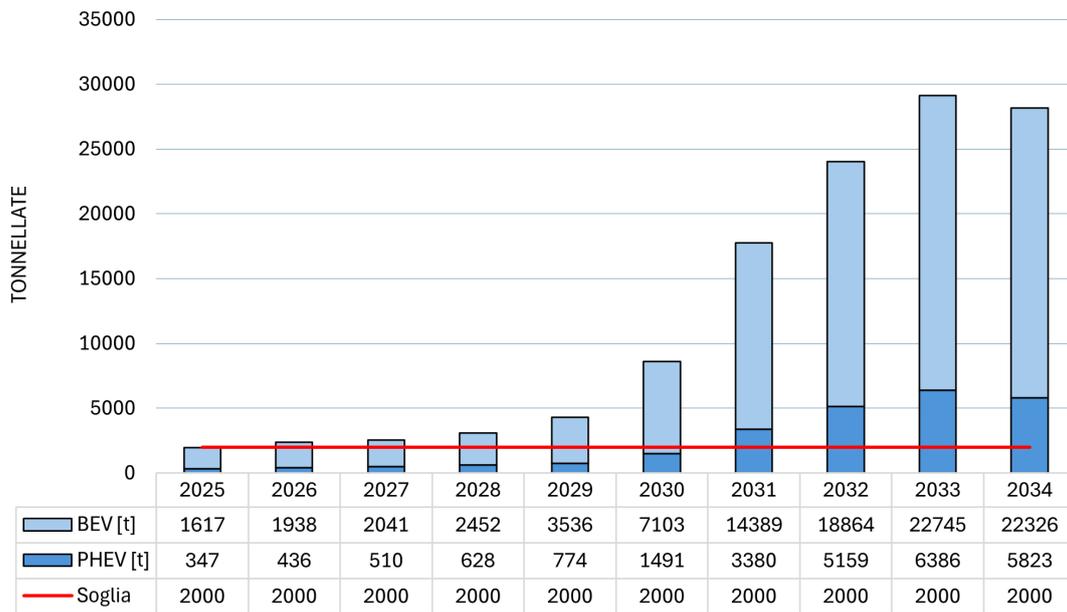


Figura 3.7: Volumi di ritorno e capacità di trattamento con 1 impianto

sicurezza, a causa del potenziale accumulo di batterie non trattate.

Alla luce delle problematiche evidenziate, il prossimo capitolo si concentrerà sull'individuazione di potenziali scenari futuri migliorativi, che prenderanno in considerazione soluzioni legate a:

- La riduzione dei chilometri percorsi dai camion
- L'aumento della capacità di trattamento installata
- Una gestione logistica più ottimizzata grazie all'apertura di centri di consolidamento dei flussi.

Capitolo 4

Scenari Futuri e Relative Implicazioni

L'analisi condotta nel Capitolo 3 ha evidenziato le attuali criticità della rete logistica per la gestione delle batterie a fine vita, mettendo in luce inefficienze nei flussi di raccolta e trattamento. L'obiettivo di questo ultimo capitolo è evidenziare i possibili incrementi in termini di efficienza economica e ambientale, attraverso modifiche all'attuale panorama infrastrutturale nazionale. L'inserimento di nuovi centri di trattamento o di centri di raccolta per lo stoccaggio intermedio permette di diminuire i chilometri percorsi e di conseguenza di abbassare il costo medio per tonnellata trasportata. Mantenendo inalterata la distribuzione geografica degli autodemolitori, che rappresentano i punti di origine dell'analisi, verranno analizzati 2 scenari:

1. **Scenario 1:** Viene aggiunto alla rete il centro di Pollutri
2. **Scenario 2:** Vengono aggiunti, oltre al centro di Pollutri, due centri di raccolta, uno per il Nord Italia uno per il Sud Italia.

Questi interventi mirano alla riduzione delle distanze di trasporto, intervenendo sia sulla disposizione geografica dei nodi di destinazione, sia sul coefficiente di carico.

4.1 Scenario 1: Centro di Pretrattamento a Pollutri

Come mostrato precedentemente durante la raccolta dati, per la seconda metà del 2025 è attesa l'apertura del secondo centro di pretrattamento in Italia. Questo sorgerà a Pollutri, in provincia di Chieti in Abruzzo e rappresenterà un nodo cruciale per tutte le spedizioni in partenza dal Sud e dal Centro Italia.

L'impianto impiegherà un anno per entrare a regime operativo e, durante la sua prima fase di vita, sarà in grado di effettuare le operazioni di disassemblaggio e pretrattamento fino all'estrazione della black mass, analogamente al centro di Sale. In una fase successiva, l'intenzione è convertire il centro per consentire anche il trattamento chimico, tramite l'impiego dell'idrometallurgia.

Come mostrato in figura 4.1, i flussi che si originano negli autodemolitori delle regioni del centro Italia (Toscana, Marche, Umbria, Lazio) e dell'Italia Meridionale (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Puglia, Sicilia), verranno diretti al nuovo centro, con un vantaggio in termini di chilometri percorsi in media durante un singolo viaggio:

- **Italia Settentrionale:** Nel caso della zona settentrionale la situazione resta invariata, con una media di **201 km**.
- **Italia Centrale:** Per la regione Centrale il vantaggio è modesto con una media di distanza percorsa pari a **321 km**, il 33% in meno rispetto alla situazione di partenza.
- **Italia Meridionale:** Il sud Italia è l'area geografica che trae maggior beneficio dell'apertura del centro a Pollutri, con una media di distanza percorsa di **422km**, pari a una riduzione del 57% rispetto allo scenario attuale.

Effettuando il ragionamento precedente, se si incrociano le distanze medie, i coefficienti di carico e la totalità dei volumi previsti, si ottiene una stima del totale

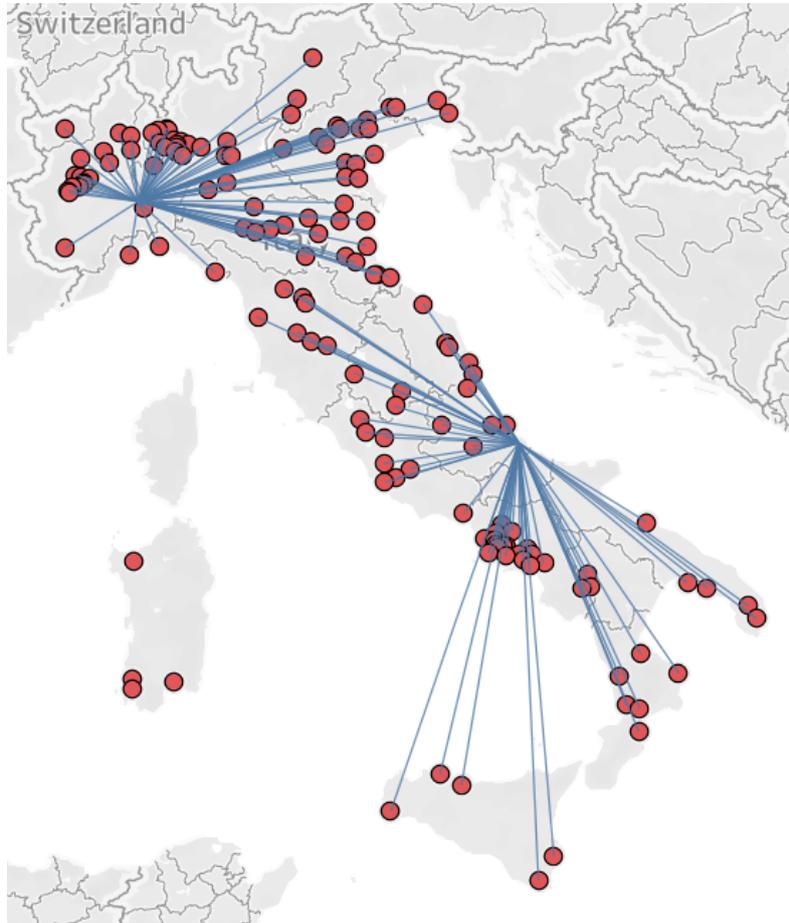


Figura 4.1: Scenario 1 - Due centri di pretrattamento

dei chilometri percorsi annualmente dagli operatori logistici incaricati del trasporto diretto delle batterie, senza contare i viaggi di ritorno. Assumendo il coefficiente di carico medio costante pari a 1 tonnellata, e il costo per chilometro invariato secondo i valori in tabella 3.5, si ottengono interessanti risultati.

Data la diminuzione dei viaggi a lunga percorrenza, applicando al nuovo scenario la formula 3.1,

$$\text{Totale km percorsi per anno } i = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{V_{ij}}{C} \times d_j \right)$$

si nota come i chilometri percorsi nel 2025 scendono da oltre 700.000 km, a circa 490.000 km. Estendendo il calcolo, si osserva la diminuzione anche negli anni

successivi, toccando quota 2.098.033 km nel 2030 e 6.761.081 km nel 2034, contro i valori ben più alti dello scenario attuale. La riduzione dei chilometri percorsi dai camion è un chiaro indicatore di una maggiore efficienza logistica sotto il profilo strutturale. Considerando la proporzionalità tra i chilometri percorsi e il costo per tonnellata trasportata, come descritto dalla formula 3.2,

$$\text{Costo medio per tonnellata nell'anno } i = \frac{\text{Totale km percorsi per anno } i \times P}{T_i}$$

si ottengono i seguenti risultati:

- Il costo minimo passa da 540 €/t a 376 €/t con un risparmio sul prezzo medio di 164 €/t
- Il costo massimo invece varia da 1549 €/t a 1078 €/t, con un beneficio di 471 €/t

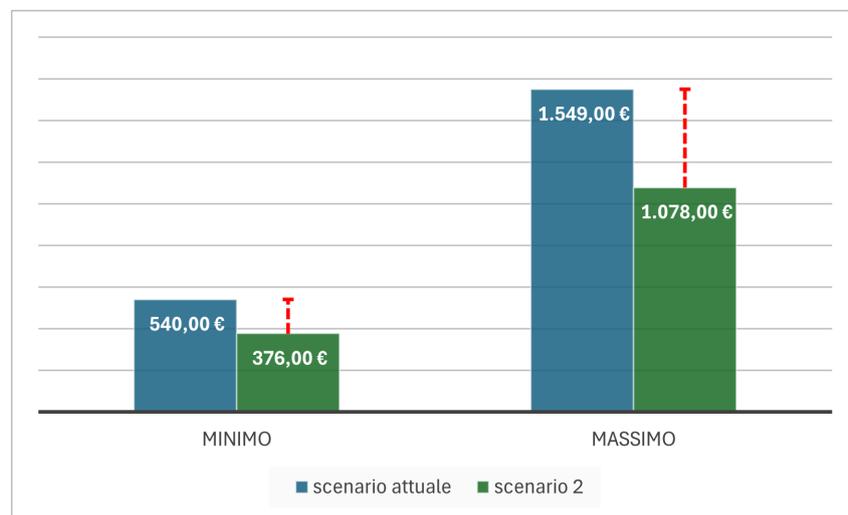


Figura 4.2: Confronto Scenario Attuale - Scenario 1

La presente configurazione risulta quindi migliorativa rispetto allo scenario attuale, consentendo un risparmio di circa il 30% sul costo per tonnellata trasportata,

a parità di volumi di ritorno. La distanza tra il valore minimo e massimo risulta inoltre leggermente ridotta, permettendo di conseguenza analisi più precise.

Un ulteriore elemento migliorativo portato dall'aggiunta di uno stabilimento per il pretrattamento è la maggiore capacità installata. Dal 2027 si avrà a disposizione un impianto a regime, in grado di trattare 3000 tonnellate l'anno, portando la capacità nazionale totale fino 5000 tonnellate annue. Tuttavia, come mostra la figura, questo incremento sarà sufficiente fino al 2029, anno dopo il quale si verificherà la prima impennata nei volumi di ritorno.

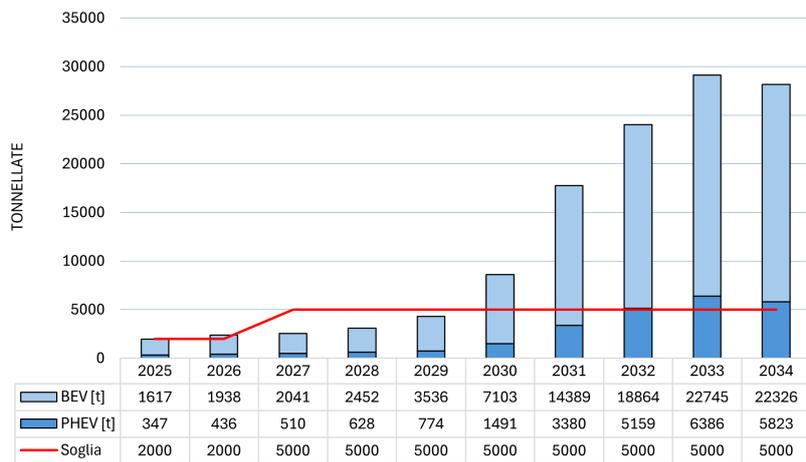


Figura 4.3: Volumi di ritorno e capacità di trattamento con 2 impianti

Nell'analisi appena conclusasi, relativa alla configurazione con 2 impianti di pretrattamento e denominata scenario 1, si è intervenuto unicamente sulle distanze stradali percorse dai camion, lasciando invariate le altre variabili. La configurazione che verrà analizzata nella seguente sezione, denominata, scenario 2, descriverà una situazione più complessa in cui verranno modificati anche i coefficienti di carico dei camion.

4.2 Scenario 2: Apertura di due centri di raccolta per lo stoccaggio intermedio

Lo scenario due assume come punto di partenza la situazione descritta nella precedente configurazione, con 2 stabilimenti di pretrattamento, uno a Sale, in Piemonte, e uno a Pollutri, in Abruzzo. La sostanziale miglioria apportata in questo caso consiste nell'inserimento di due centri di raccolta, per lo stoccaggio intermedio, all'interno della rete. Tali centri sono stati posizionati strategicamente in modo da poter servire sia il Nord che il Sud Italia, garantendo distanze minori e tempi di consegna più rapidi, nella prima fase di trasporto. Per rendere lo scenario più affine alla situazione reale si è presa in esame la mappa di centri di raccolta intermedi già esistenti, appartenenti ad Haiki-Cobat ed utilizzati per lo stoccaggio di batterie al Piombo¹. La regolamentazione e le autorizzazioni richieste per il trattamento di batterie al litio differiscono rispetto al caso del piombo. Tuttavia, è stata considerata l'eventualità in cui questi due centri riescano ad ottenerle.

In questo tipo di configurazione verranno modificate le tratte, le distanze e in particolare i coefficienti di carico dei camion. La funzione del centro di raccolta, infatti è quella di permettere lo stoccaggio delle batterie esauste, in condizioni di sicurezza, fino al raggiungimento di un volume sufficiente a movimentare un camion completamente carico. I due centri in questione sono localizzati come segue:

1. In Campania, precisamente a Striano, in provincia di Napoli.
2. In Emilia-Romagna, precisamente a Caorso, in provincia di Piacenza.

Valutando singolarmente per ogni regione la convenienza o meno di utilizzare il centro di stoccaggio intermedio, è stato deciso come organizzare le spedizioni. Il seguente vincolo garantisce che il trasporto passando per il centro di raccolta sia

¹Cobat 2024.

più efficiente rispetto al trasporto diretto all’impianto finale. Questa condizione si verifica quando la somma delle distanze, ponderate per il volume trasportato e il carico effettivo nei due segmenti, risulta inferiore al trasporto diretto all’impianto con un carico ridotto.

$$\frac{d_{iC} \cdot V_i}{T_{\text{basso}}} + \frac{d_{CP} \cdot V_i}{T_{\text{alto}}} \leq \frac{d_{iP} \cdot V_i}{T_{\text{basso}}} \quad (4.1)$$

Dove:

- d_{iC} è la **distanza** tra l’autodemolitore i e il centro di raccolta.
- d_{CP} è la **distanza** tra il centro di raccolta e l’impianto finale.
- d_{iP} è la **distanza** tra l’autodemolitore i e l’impianto finale.
- V_i rappresenta il **volume di ritorno** proveniente dalla regione i .
- T_{basso} è la **capacità di carico per viaggio** in caso di trasporto non ottimizzato.
- T_{alto} è la **capacità di carico per viaggio** in caso di trasporto ottimizzato.

Lo scenario ipotizzato è il seguente:

- L’impresso proveniente dalle regioni dell’Italia Meridionale e dal Lazio viene diretto al centro di Striano, percorrendo in media **260 km**. Il successivo tratto da Striano fino al centro di Pollutri misura **218 km**.
- L’impresso proveniente dalle regioni Toscana, Marche, Umbria e Abruzzo procede direttamente in direzione Pollutri, evitando il passaggio al centro di raccolta, percorrendo in media **285 km**.
- I volumi provenienti dall’Italia Settentrionale, ad esclusione di Piemonte e Liguria, vengono diretti prima al centro di Caorso e successivamente a Sale, percorrendo prima **164 km** in media e successivamente **113 km**.

- Le batterie in arrivo da Piemonte e Liguria vengono dirette a Sale, senza utilizzare il Centro di raccolta. La percorrenza media misura **104 km**.

Le scelte effettuate porteranno benefici dal 2027 in avanti, anno in cui sarà possibile avere a regime l'impianto e i centri di raccolta. Esse derivano dalla necessità di trovare il giusto equilibrio tra la riduzione delle distanze percorse e la possibilità di effettuare trasferimenti a carico completo, ottimizzando così l'efficienza logistica.



Figura 4.4: Scenario 2 - Due centri di stoccaggio intermedio

La figura 4.4 evidenzia questi percorsi. I centri di raccolta sono rappresentati dal cerchio verde, mentre il flusso più spesso, dello stesso colore, mostra il nuovo collegamento tra i centri di stoccaggio intermedio e i centri di pretrattamento.

Seguendo la stessa logica utilizzata per la descrizione dello scenario attuale, si calcolano le distanze e i costi totali al fine di individuare la variazione nel prezzo medio per tonnellata. Assumendo un coefficiente di carico pari a 20 tonnellate² per le tratte che partono dai centri di raccolta e di 1 tonnellata per tutte le altre, si ottengono risultati migliorativi rispetto alla situazione attuale. In termini di costo per tonnellata il beneficio è pari a una ulteriore diminuzione del 22% rispetto allo scenario 1 e a un meno 46% dai valori iniziali dello scenario attuale. La figura 4.5 mostra quanto detto.

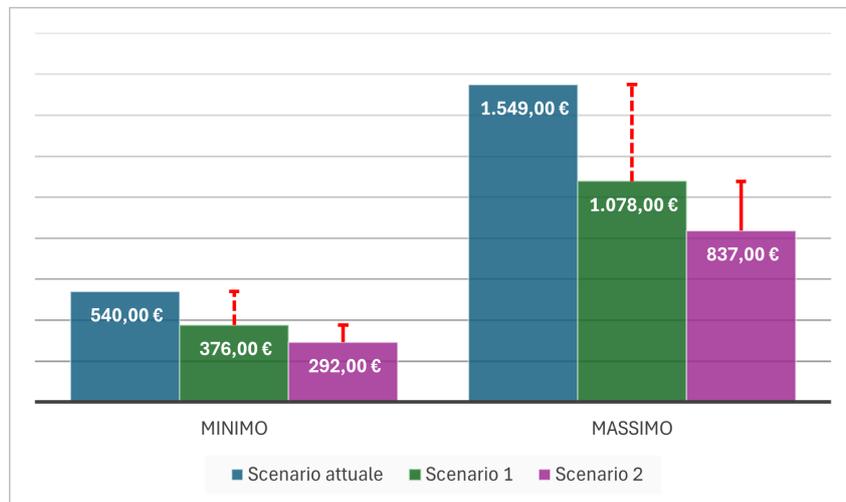


Figura 4.5: Confronto Scenario Attuale - Scenario 1 - Scenario 2

Questa riduzione di costo deve essere però sufficiente da giustificare l'apertura dei due centri di raccolta. Distinguiamo quindi tra capex e opex:

- **Capex:** Non sono previsti costi di investimento (CAPEX) per l'attivazione dei nuovi centri di raccolta. Le strutture identificate, situate a Striano e Caorso, risultano già operative nella gestione di rifiuti pericolosi come le batterie al piombo, e sono dotate di impianti antincendio, sistemi di rilevamento della temperatura, attrezzature logistiche e software di gestione idonei

²Un camion di tipo C, completamente carico, riesce a trasportare fino a 20 tonnellate.

allo stoccaggio temporaneo di batterie al litio non critiche. L'organizzazione logistica prevede che le batterie provenienti dagli autodemolitori siano sottoposte a preselezione e scarica, con invio diretto degli esemplari critici agli impianti di pretrattamento. Questo consente di evitare interventi strutturali o impiantistici rilevanti presso i centri intermedi, rendendo non necessario contabilizzare spese fisse. I costi considerati nel modello di valutazione sono pertanto esclusivamente di natura operativa (OPEX).

- **Opex:** Le spese operative di gestione hanno un impatto rilevante sul costo. Le voci di costo da considerare riguardano principalmente:
 - Costo del personale
 - Utenze, costo elevato data la necessità di tenere la temperatura compresa tra -10 °C e +50 °C.

Il costo di gestione delle batterie nei centri di raccolta è pari a 40 € per Tonnellata³.

4.2.1 Modello di calcolo e logica applicativa

Per la stima dei costi logistici annuali dei due scenari proposti, si fa riferimento al modello definito nella formula 3.1, opportunamente adattato in funzione della configurazione logistica considerata.

Scenario 1. Nel primo scenario, tutte le macroaree territoriali conferiscono direttamente agli impianti di pretrattamento: le regioni settentrionali verso l'impianto di Sale, le centrali, meridionali e insulari verso Pollutri.

Il costo totale dipende dal numero di chilometri percorsi nell'anno i ed è dato da:

³Haiki-Cobat 2024.

$$C_{1i} = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{V_{ij}}{C_1} \cdot d_j \right) \cdot P$$

dove:

- i indica l'anno di riferimento (dal 2025 al 2034);
- j indica la macroarea geografica:
 - $j = 1$: Italia settentrionale,
 - $j = 2$: Italia centrale,
 - $j = 3$: Italia meridionale e insulare;
- V_{ij} è il volume di ritorno (in tonnellate) nell'anno i e nella macroarea j ;
- C_1 è il coefficiente di carico (1 t/viaggio);
- d_j è la distanza media percorsa dalla macroarea j all'impianto di riferimento.

Scenario 2. Nel secondo scenario, solo una parte delle regioni utilizza centri di raccolta intermedi, mentre altre continuano a conferire direttamente agli impianti.

Il costo complessivo è quindi la somma di tre componenti:

$$C_{2i} = \underbrace{\sum_{r \in D} \left(\frac{V_{ir}}{C_1} \cdot d_r \cdot P \right)}_{\text{trasporto diretto}} + \underbrace{\sum_{r \in S} \left(\frac{V_{ir}}{C_1} \cdot d_{rt} \cdot P \right)}_{\text{logistica primaria}} + \underbrace{\sum_{k=1}^2 \left(\frac{V_{ik}}{C_2} \cdot d_{ki} \cdot P \right)}_{\text{logistica secondaria}}$$

dove:

- D è l'insieme delle regioni che conferiscono direttamente all'impianto;
- S è l'insieme delle regioni che utilizzano un centro di raccolta;
- r indica una regione;
- V_{ir} è il volume di ritorno dell'anno i nella regione r ;

- C_1 è il coefficiente di carico (1 tonnellata/viaggio);
- C_2 è il coefficiente di carico (20 tonnellate/viaggio);
- d_r è la distanza regione–impianto (per $r \in D$);
- d_{rt} è la distanza regione–centro (per $r \in S$);
- k è l'indice del centro (1 = Caorso o 2 = Striano);
- V_{ik} è il volume totale conferito nel centro k nell'anno i ;
- d_{ki} è la distanza tra il centro k e l'impianto di destinazione.

La prima sommatoria rappresenta il trasporto diretto (come nello scenario 1), la seconda la logistica primaria (regione \rightarrow centro) e la terza la logistica secondaria (centro \rightarrow impianto, con carico ottimizzato). Questa formulazione consente di rappresentare correttamente la configurazione ibrida dello scenario 2, in cui non tutte le regioni transitano dai centri intermedi.

Per quanto riguarda il solo stoccaggio, il costo associato a ciascun centro (Striano o Caorso) viene calcolato moltiplicando il volume totale annuo di batterie gestito dal centro per un costo unitario di gestione pari a 40 €/tonnellata. Il volume trattato in ciascun centro corrisponde alla somma dei volumi provenienti dalle regioni che, nello scenario 2, conferiscono a quel centro.

La formula utilizzata è la seguente:

$$S_{ik} = V_{ik} \cdot c_s$$

dove:

- S_{ik} è il costo di stoccaggio nel centro k nell'anno i ;
- V_{ik} è il volume conferito al centro k nell'anno i , pari a $\sum_{r \in C_k} V_{ir}$;

- C_k è l'insieme delle regioni che utilizzano il centro k ;
- c_s è il costo unitario di stoccaggio (40 €/t).

Il costo complessivo di stoccaggio nello scenario 2 si ottiene sommando i contributi dei due centri:

$$S_i = \sum_{k=1}^2 S_{ik}$$

Il costo totale annuo dello scenario 2 risulta quindi pari a:

$$C_{2i}^{\text{totale}} = C_{2i} + S_i$$

dove C_{2i} rappresenta il costo di trasporto (suddiviso in diretto, logistica primaria e logistica secondaria), e S_i rappresenta il costo complessivo di stoccaggio. La somma fornisce il valore integrato utilizzato nella Tabella 4.1 per il confronto tra scenari.

Con queste informazioni è stato possibile confrontare il beneficio economico derivante dall'aggiunta di due centri di raccolta, al netto dei costi di gestione per lo stoccaggio. I dati si riferiscono a un periodo che va dal 2027 fino al 2029, ovvero da quando lo scenario due sarà operativo fino all'anno in cui la capacità installata non sarà più sufficiente. Da questo momento in poi è giusto aspettarsi ulteriori investimenti e nuove configurazioni, con l'aggiunta di impianti e centri di raccolta.

Nell'ultima sezione della tabella 4.1 (Risparmio Scenario 2 - Scenario 1) viene effettuata la differenza tra il costo complessivo dello scenario 1, con i due centri di pretrattamento, e lo scenario 2, caratterizzato dall'aggiunta di due centri di raccolta. Sebbene il costo di stoccaggio per tonnellata sia elevato, pari a 40 € per tonnellata, l'analisi costi-benefici mostra un evidente vantaggio economico derivante da questa configurazione. Il risparmio cresce all'aumentare del costo di trasporto e raggiunge circa un milione di euro nel 2029 nel caso di costo massimo, pari a 4,16 € per chilometro.

Costo Annuo	2027	2028	2029
Scenario 1			
Min	810.289 €	997.515 €	1.448.242 €
Max	2.321.488 €	2.857.895 €	4.149.234 €
Scenario 2 - Suddivisione per Voce di Costo			
Solo trasporto			
Min	623.364 €	758.564 €	1.092.663 €
Max	1.785.945 €	2.173.295 €	3.130.496 €
Solo stoccaggio			
Opex Striano	15.152 €	16.721 €	21.423 €
Opex Caorso	38.331 €	44.425 €	60.670 €
Opex Totale	53.484 €	61.146 €	82.093 €
Trasporto + stoccaggio			
Min	676.847 €	819.710 €	1.174.756 €
Max	1.839.429 €	2.234.441 €	3.212.589 €
Risparmio Scenario 2 - Scenario 1			
Min	133.442 €	177.806 €	273.486 €
Max	482.059 €	623.454 €	936.645 €

Tabella 4.1: Confronto tra Scenario 1 e Scenario 2 con suddivisione tra trasporto, stoccaggio e costo totale

4.2.2 Fattibilità tecnica e autorizzativa

L'apertura di due nuovi centri di raccolta presso Striano (Campania) e Caorso (Emilia-Romagna) si basa sul riutilizzo di strutture già operative nella gestione di batterie al piombo. Tali impianti dispongono delle infrastrutture necessarie per la movimentazione in sicurezza dei materiali, comprese scaffalature industriali, sistemi informatici per la gestione del magazzino e impianti antincendio già conformi ai requisiti minimi richiesti per i rifiuti pericolosi.

Tuttavia, il passaggio alla gestione di batterie al litio richiede l'adeguamento autorizzativo alle specifiche normative previste per questa categoria di rifiuto. In particolare, i centri dovranno ottenere:

- il rilascio o l'adeguamento dell'Autorizzazione Unica Ambientale (AUA)⁴, che accorpa i titoli abilitativi in materia ambientale, incluse le emissioni, gli scarichi e la gestione dei rifiuti. Nel caso di modifica di un'autorizzazione esistente, i tempi di ottenimento sono stimabili in 6–8 mesi, mentre per una nuova autorizzazione i tempi possono estendersi fino a 12 mesi;
- l'iscrizione all'Albo Nazionale Gestori Ambientali per le operazioni di stoccaggio temporaneo e movimentazione dei rifiuti pericolosi⁵;
- l'autorizzazione specifica al trattamento del codice CER 16 06 05 (altre batterie ed accumulatori), che identifica le batterie agli ioni di litio a fine vita. Questa autorizzazione viene rilasciata dalla Provincia territorialmente competente, su parere favorevole dell'ARPA per gli aspetti ambientali e dell'ASL per la sicurezza sanitaria e sul lavoro;
- il rispetto delle prescrizioni del Regolamento ADR per il trasporto di merci pericolose, essendo i centri di raccolta un punto intermedio del flusso logistico di rifiuti classificati come pericolosi⁶.

Non è prevista la necessità di Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), in quanto l'attività si configura come un'estensione funzionale non sostanziale di impianti esistenti.

Questo iter autorizzativo consente di abilitare i centri alla gestione intermedia delle batterie al litio, limitatamente alle unità in stato stabile. Le batterie considerate critiche, in virtù del loro stato di pericolosità, continueranno a essere avviate

⁴Repubblica Italiana 2013.

⁵Italiana 2006.

⁶Nations 2023.

direttamente agli impianti di pretrattamento tramite trasporti dedicati, riducendo così i rischi operativi. L'articolazione dei flussi in questo modo garantisce una gestione sicura e ordinata, ottimizzando la rete logistica nazionale.

4.2.3 Fattibilità relazionale e inserimento nella rete esistenti

L'integrazione dei centri di Striano e Caorso avviene all'interno di una rete logistica nazionale già consolidata, gestita da Haiki-Cobat e dai suoi partner, specializzati nella gestione del fine vita delle batterie. Questa rete comprende:

- impianti di raccolta e preselezione;
- operatori ADR per il trasporto in sicurezza;
- centri di pretrattamento e riciclo;
- sistemi digitali per la tracciabilità e la gestione documentale.

L'inserimento dei due nuovi centri avviene senza dover stipulare nuove convenzioni, grazie all'estensione di rapporti contrattuali e procedurali già attivi. Le relazioni con i fornitori e gli operatori logistici sono regolate da accordi quadro e SLA (Service Level Agreement) che definiscono, ad esempio, i tempi di presa in carico delle batterie dagli autodemolitori, i tempi massimi di permanenza nei centri di stoccaggio intermedio, la tracciabilità dei flussi e gli standard di sicurezza. Questa integrazione garantisce continuità operativa, facilita la scalabilità futura della rete e migliora il controllo sui flussi logistici anche in vista degli obblighi di tracciabilità previsti dal Regolamento UE 2023/1542⁷.

⁷European Parliament and Council 2023.

Lo Scenario 2 si dimostra quindi:

- Tecnicamente realizzabile, grazie alla disponibilità di strutture esistenti;
- Normativamente gestibile, con iter autorizzativi standard e supporto da parte degli enti locali;
- Relazionalmente robusto, basato su accordi e sinergie con operatori già attivi nella filiera;
- Economicamente vantaggioso, con risparmi fino a quasi un milione di euro l'anno nel lungo termine.

4.3 Considerazioni finali e sviluppi futuri

Una volta che le batterie vengono consegnate all'impianto designato, iniziano le operazioni necessarie all'estrazione della black mass. Il processo, come descritto precedentemente, si articola in diverse fasi, finalizzate alla separazione e al recupero delle diverse componenti. La quota di materiali recuperati varia in base al tipo di batteria e alla sua composizione chimica, tuttavia, a scopo illustrativo ed esemplificativo, si è preso in esame il caso specifico di una cella prismatica NMC, utilizzata nel modello Volkswagen e-Golf. I dettagli sui rapporti di massa di questa batteria sono riportati in Appendice A. Durante la prima fase di disassemblaggio si recuperano i seguenti materiali. Le percentuali sono da ritenersi come frazione del peso totale della batteria composta da pacco batteria, moduli e celle.

- 23% di Alluminio
- 3% di Elettronica
- 6% di Acciaio
- 4% del peso iniziale è costituito da scarti non recuperabili

Segue al disassemblaggio il pretrattamento, a sua volta diviso in triturazione ed evaporazione, vagliatura e separazione tra l'elettrodo e la black mass. I materiali recuperati sono:

- 9% Elettrolita
- 10% Rame
- ulteriore 5% di alluminio
- 2% scarti non recuperabili

Al termine di queste operazioni, i materiali recuperati procedono verso filiere consolidate e ottimizzate per il recupero e la reimmissione nel ciclo produttivo. La frazione rimanente, pari al 38% del peso iniziale, costituisce la black mass. Circa il 12,5% di questo concentrato di materiali è grafite, il resto invece sono materiali come Nichel, Litio, Cobalto e Manganese. L'elevatissimo valore economico di questi materiali giustifica il loro trasporto anche su lunghe distanze, rendendo i costi logistici trascurabili rispetto al valore intrinseco del carico. La black mass viene quindi mandata verso impianti specializzati nei processi di idrometallurgia o pirometallurgia, in Europa o in Cina.

La logistica e lo studio dei trasporti assumono invece un ruolo cruciale tra la fine dell'utilizzo della batteria e l'inizio delle pratiche di riciclo. In questa fase, la batteria presenta grossi rischi ed è costituita per oltre il 60% da materiali a basso valore intrinseco. Ne deriva la necessità di ottimizzare le distanze e le rotte dei camion impiegati nella logistica primaria, fino ai centri di raccolta, e nella logistica secondaria, fino agli impianti di pretrattamento. Una corretta pianificazione del trasporto consente di ottenere benefici economici in termini di costi risparmiati e un maggiore livello di efficienza.

L'analisi dei due scenari attesi porta con sé una serie di considerazioni tecniche. L'attuale configurazione è non ottimizzata a causa dei bassi volumi di ritorno,

che ancora oggi non giustificano l'apertura di un nuovo impianto e non supportano meccanismi di consolidamento dei carichi. Attualmente, il raggiungimento di volumi sufficienti per garantire una spedizione a carico completo richiede tempi lunghi e comporta la necessità di mantenere le batterie in attesa di spedizione negli autodemolitori per un periodo superiore ai 10 giorni consentiti dalla normativa. La crescita dei volumi dei prossimi anni permetterà gli investimenti necessari a riconfigurare la rete, riducendo le distanze e migliorando l'ottimizzazione della logistica dei trasporti. I fattori chiave da considerare sono quindi:

- **Numero degli impianti di pretrattamento (n)**
- **Numero centri di raccolta (m)**

Per analizzare l'effettivo andamento del costo all'aumentare delle strutture e ottenere un quadro completo per prendere decisioni logistiche informate, nonché per valutare il potenziale beneficio dell'aggiunta di un nodo alla rete, sono stati calcolati ulteriori scenari. Il costo di riferimento rimane il valore massimo di 4,16 € per chilometro.

Nel caso degli impianti di pretrattamento, in aggiunta ai dati raccolti e analizzati nelle configurazioni precedenti, per valutare l'impatto di una nuova struttura sul costo per tonnellata, si è proceduto incrementando gradualmente il numero di una unità, fino a un totale di cinque. La localizzazione degli impianti è stata determinata seguendo i criteri precedentemente enunciati, con l'obiettivo di ridurre al minimo le distanze più significative e intervenire nelle aree maggiormente critiche. Infatti, oltre all'impianto di Sale, situato a Nord-Ovest, e a quello di Pollutri nella zona centrale, è stata scelta l'installazione di ulteriori impianti nelle aree di Nord-Est, Centro-Nord e Sud.⁸ I risultati sono presentati in tabella 4.2

⁸I nuovi impianti sono stati allocati nelle seguenti province, in ordine: Pordenone, Livorno, Potenza.

Numero di impianti n	Costo reale $C(n)$ (€ per tonnellata)
1	1549
2	1079
3	802
4	737
5	702

Tabella 4.2: Dati empirici della relazione tra numero di impianti e costo per tonnellata

Allo stesso modo, per valutare l'impatto relativo all'aggiunta di un centro di raccolta, sono stati valutate nuove configurazioni. In questo caso il numero di impianti è stato tenuto costante e pari a 2 mentre quello dei centri di raccolta è stato aumentato di volta in volta di una unità, fino a un totale di cinque. La logica di allocazione seguita è la medesima descritta precedentemente. Per cercare di dare omogeneità alla distribuzione dei centri di raccolta, si è intervenuto prima nella zona Centrale, successivamente nella zona a Nord Est e infine nell'estremo Sud ⁹. I dati raccolti sono riportati nella Tabella 4.3.

Numero di CdR m	Costo reale $C(m)$ (euro per tonnellata)
1	894
2	837
3	724
4	609
5	577

Tabella 4.3: Dati empirici della relazione tra numero di centri di raccolta e costo per tonnellata

L'aggiunta di impianti di pretrattamento (n) ha un impatto immediato sulla riduzione del costo, poiché diminuisce direttamente la distanza percorsa. Tuttavia, il rendimento dei benefici è decrescente al margine, nel senso che ogni nuovo impianto ha un impatto inferiore rispetto a quelli aggiunti precedentemente all'interno

⁹I nuovi Centri di Raccolta sono stati allocati nelle seguenti province, in ordine: Terni, Vicenza, Crotone

della rete 4.6. Per quanto riguarda i centri di raccolta (m), l'impatto risulta essere più graduale. Migliorando il coefficiente di carico si riduce la frequenza di viaggi necessari a parità di volumi di ritorno. L'effetto è più evidente nelle regioni lontane dagli impianti 4.7.

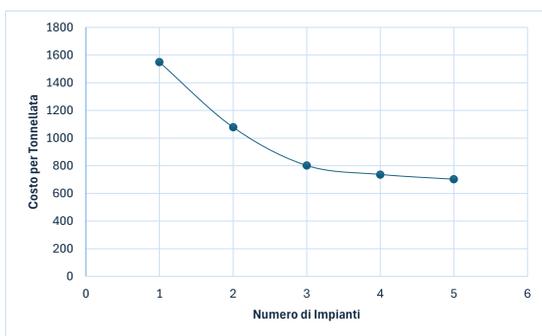


Figura 4.6: Relazione Costo per tonnellata e Numero di impianti

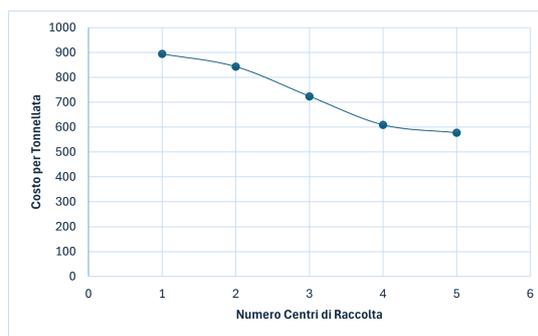


Figura 4.7: Relazione Costo per tonnellata e Numero Centri di Raccolta

L'analisi ha evidenziato come l'infrastruttura logistica influisca direttamente sui costi di trasporto delle batterie esauste. L'aumento del numero di impianti e centri di raccolta porta a significativi risparmi, con una riduzione del costo per tonnellata che segue un andamento decrescente. Il principio dei rendimenti marginali decrescenti spiega perché i primi impianti apportano i maggiori benefici, mentre quelli successivi riducono il costo con un'efficacia minore. Per i Centri di raccolta invece la decrescita segue un andamento simile a una funzione lineare. Una interessante considerazione riguarda il numero ottimale di impianti di pretrattamento in Italia, considerando la morfologia e l'estensione del territorio. Dal grafico si vede come oltre i 3 impianti, collocati a Nord Ovest, Nord Est e Centro Sud, il beneficio marginale risulta via via minore e non sufficiente a giustificare un nuovo investimento. Tuttavia, è importante sottolineare che la determinazione del numero ottimale di impianti non può basarsi unicamente su considerazioni legate al costo di trasporto per tonnellata. Bisogna infatti prendere in esame la necessità di garantire una capacità di trattamento dei volumi di ritorno adeguata, che prevede un numero di

impianti superiore ai tre ipotizzati. Dal punto di vista logistico la rete potrebbe apparire ottimizzata con 3 impianti, tuttavia questo valore si scontra con la necessità di trattare volumi via via maggiori.

è importante sottolineare che ognuno dei valori di costo ottenuti è fortemente dipendente dalla localizzazione degli impianti e dei centri di raccolta. Quanto più risulta strategica la posizione di un nuovo impianto, tanto più alta sarà la riduzione del costo rispetto a una scelta meno ottimale. Il modello fornisce quindi una buona rappresentazione della relazione tra numero di impianti, centri di raccolta e costo per tonnellata, ma deve essere adattato a specifici scenari.

Interessanti sviluppi di analisi potrebbero riguardare lo studio congiunto dei due effetti, valutando le configurazioni possibili dalla combinazione di un numero n di Impianti e un numero m di Centri di Raccolta. Considerando che un impianto, dal momento in cui parte la progettazione al momento in cui riesce a lavorare a pieno regime, impiega circa cinque anni ¹⁰ e che per rendere un deposito per le batterie al piombo, idoneo allo stoccaggio delle batterie al litio, si necessita di un tempo più breve di circa 1 anno, si possono identificare le migliori strategie di gestione.

¹⁰Tempo impiegato per la costruzione dell'impianto di Pollutri, operativo a fine 2025 e che impiegherà un ulteriore anno per entrare a regime operativo

Conclusione

Risultati principali

L'introduzione del Regolamento (UE) 2023/1542 ha segnato una svolta nella gestione delle batterie a fine vita, definendo in modo significativo il modello di responsabilità e le dinamiche della filiera. Il nuovo quadro normativo ha stabilito il principio della responsabilità estesa del produttore (EPR), un cambiamento fondamentale che impone ai produttori di finanziare la raccolta, il trasporto, il pretrattamento e il riciclaggio dei rifiuti di batterie. Questa trasformazione ha portato a una rete più strutturata di stakeholder, tra cui le organizzazioni per l'adempimento dell'EPR, che svolgono un ruolo chiave nell'organizzazione e nella gestione dei flussi di rifiuti, e la definizione dei centri di raccolta, che fungono da snodi essenziali nella catena di approvvigionamento e la cui distribuzione a livello nazionale rappresenta una delle principali sfide da affrontare.

Con il nuovo regolamento, a partire dal 2026, il sistema di pagamento passerà dal modello "pay as you collect" a "pay as you sell". Attualmente, il primo modello prevede che il produttore dichiari l'immissione sul mercato della batteria, ma paghi per il suo ritiro solo quando questa è effettivamente pronta per essere smaltita. Dal prossimo anno, invece, il contributo ambientale dovuto al consorzio di riferimento sarà versato al momento dell'immissione della batteria sul mercato. Le modalità di calcolo di questa somma e gli eventuali adeguamenti nel tempo saranno definiti nei prossimi anni. Tuttavia, resta centrale la responsabilità del produttore per

ogni batteria immessa sul mercato. Questo principio ha reso necessario un sistema più tracciabile, portando alla digitalizzazione del settore e all'introduzione del passaporto digitale delle batterie. Nei prossimi anni, questo strumento diventerà un elemento chiave per garantire trasparenza e condivisione delle informazioni tra produttori, riciclatori e consorzi per l'adempimento dell'EPR, migliorando in questo modo l'efficienza nelle fasi di raccolta, trasporto e riciclo.

L'analisi dei dati rivela un problema strutturale nell'attuale rete logistica. La morfologia geografica dell'Italia e la concentrazione degli impianti di trattamento in poche aree rappresentano un serio rischio per la capacità del settore di gestire le batterie a fine vita. Attualmente, la rete esistente non è in grado di assorbire i volumi di riconsegna previsti. Il problema non riguarda soltanto la capacità di trattamento installata, non più sufficiente a partire dal 2030, ma anche l'elevato chilometraggio e i relativi tempi di percorrenza. La criticità è rappresentata dall'uso inefficiente delle risorse logistiche: a causa della mancanza di impianti di trattamento adeguatamente distribuiti, un numero eccessivo di camion circola quasi a vuoto o copre lunghe distanze, aumentando i costi operativi e le emissioni di CO₂. Questa situazione evidenzia la urgente necessità di nuove strutture di raccolta e trattamento per ridurre le distanze di trasporto e migliorare l'efficienza della gestione dei rifiuti. Per affrontare queste sfide, lo studio suggerisce di creare nuovi hub logistici e di trattamento in aree strategiche come il Centro-Nord Italia, il Nord-Est e il Sud. Ciò contribuirebbe a ridurre i tempi di trasporto, ottimizzare i flussi logistici e aumentare l'efficienza operativa. Alcuni esempi concreti di investimenti e progetti in corso sono:

- **Il progetto Cyclus**, che rappresenta un modello per la gestione delle batterie a fine vita in collaborazione con la fitta rete di autodemolitori presenti in Italia.
- **L'apertura dell'impianto di Pollutri**, che segna un passo avanti nella

gestione dei rifiuti di batterie, ma che da solo non sarà sufficiente a gestire i volumi di ritorno previsti.

Limiti di analisi

Nonostante l'analisi abbia fornito un quadro dettagliato della gestione delle batterie e a fine vita, le assunzioni necessarie alla modellizzazione dei flussi hanno comportato alcune limitazioni. Tali limitazioni si manifestano principalmente negli ultimi due capitoli, dove l'approfondimento si è focalizzato su soltanto una delle cinque fasi della catena del valore. È stata dimensionata infatti solo la fase del trasporto, mentre le altre di raccolta, stoccaggio e riciclo sono state considerate solo in termini qualitativi. L'analisi ha coinvolto gli attori responsabili della raccolta, del pretrattamento e del trattamento, di cui sono state analizzate le dinamiche e i processi operativi, ma il dimensionamento numerico dei flussi è stato condotto esclusivamente per la fase di trasporto. In questo modo si sono evidenziate le varie inefficienze della rete logistica e l'impatto che una diversa distribuzione degli impianti potrebbe avere su costi e chilometraggio. Tuttavia, l'assenza di stime sul dimensionamento dei centri di raccolta o sulle capacità di trattamento dei nuovi impianti implica che le conclusioni raggiunte siano parziali e non rappresentino in modo esaustivo l'intera filiera.

L'aver fatto riferimento alla sola rete logistica Cobat ma al totale dei volumi di ritorno a livello nazionale, rappresenta un'ulteriore limitazione. Cobat rappresenta il maggior consorzio in termini di espansione della rete e volumi trattati, ma non è l'unico attore operante sul territorio nazionale. L'aver preso come riferimento questa rete ha permesso di raccogliere risultati veritieri in termini di riduzione percentuale di costo per tonnellata movimentata, ma ha ridotto l'accuratezza dei dati in termini di valori assoluti. Si è implicitamente assunto che i punti di origine fossero i soli 164 autodemolitori partecipanti al progetto Cyclus e attualmente attivi e

che questi restino costanti negli anni. Questa ipotesi semplifica il modello ma non tiene conto di possibili benefici derivanti dall'espansione della rete e del numero dei punti di origine. È però importante precisare che il modello rappresenta una buona stima, dal momento che si ragiona in termini di distanze medie basate su una buona distribuzione omogenea degli autodemolitori sul territorio nazionale. La scelta di mantenere invariato il numero dei punti di origine dei flussi è giustificata dalla necessità di concentrarsi sulle macro-dinamiche logistiche, impattate in maniera drasticamente maggiore dal potenziamento degli impianti di pretrattamento o dall'ottimizzazione dei coefficienti di carico.

Un altro aspetto da considerare è l'assunzione di un tasso di raccolta pari al 100% dei volumi di ritorno. Questa ipotesi è allineata con gli obiettivi del regolamento che infatti non specifica soglie minime di raccolta, ma solo che l'operatività dei consorzi debba essere garantita allo stesso modo su tutto il territorio nazionale. Il nuovo modello di responsabilità diretta sulla singola batteria, unitamente all'introduzione del passaporto digitale, dovrebbe garantire nei prossimi anni un tasso di raccolta sempre più vicino all'ideale 100%. Tuttavia, nell'attuale realtà operativa un tasso di recupero totale è improbabile e di conseguenza le stime fornite potrebbero risultare ottimistiche.

In sintesi, le principali limitazioni dello studio riguardano la parziale quantificazione dei flussi della catena del valore, l'analisi della sola rete di Cobat e l'assunzione di un tasso di raccolta ideale.

Sviluppi futuri

La normativa ha modificato la gestione del fine vita delle batterie al litio, avviando un processo di circolarizzazione della filiera. Raggiungere i target di riciclo richiesti rappresenta il principale obiettivo dell'Unione Europea, ma non l'unico. In futuro,

pratiche quali il ricondizionamento e il cambio destinazione apporteranno numerosi benefici all'intera filiera. La crescente integrazione di sistemi di monitoraggio avanzati, come le applicazioni BMS (Battery Management System), consentirà di tracciare con maggiore precisione lo stato di salute di ogni batteria, permettendo di compiere le corrette scelte gestionali ed evitando il riciclo prematuro di batterie ancora utilizzabili. Questa evoluzione favorirà anche lo sviluppo di nuovi mercati legati alle applicazioni di Second Life, che al momento sono ancora in fase di progetti pilota e diffusi solo in alcuni paesi d'Europa come Germania, Francia e Olanda. Tuttavia, l'interesse dell'Europa per tali pratiche è chiarito nel regolamento, ed è quindi lecito ipotizzare una crescita delle applicazioni di riutilizzo in parallelo all'espansione del riciclo.

Per quanto riguarda la rete descritta, alcune considerazioni sui possibili sviluppi e ampliamenti futuri riguardano il numero di autodemolitori. In Italia ci sono oltre 1400 autodemolitori¹¹, ma solo alcuni possiedono le corrette autorizzazioni per accettare in ingresso batterie al litio ed effettuare le operazioni di scarica. Al momento il progetto Cyclus ne conta 164, ma l'obiettivo è espandere tale numero e rendere la rete sempre più capillare. Con gli stessi autodemolitori, dotati di spazi abbastanza estesi da poter ospitare un buon numero di batterie, si sta valutando la possibilità di realizzare centri di raccolta direttamente all'interno di queste strutture, trasformandoli in punti strategici per l'ottimizzazione della logistica e del trattamento dei rifiuti. Tale configurazione potrebbe rappresentare una soluzione efficace per migliorare l'efficienza della raccolta e ridurre le distanze di trasporto.

Valutare l'effetto congiunto dell'ampliamento della rete di autodemolitori, della creazione di nuovi centri di raccolta e dell'incremento della capacità degli impianti di trattamento sarà essenziale per garantire una copertura omogenea del servizio su tutto il territorio nazionale. Questo processo dovrà avvenire con particolare

¹¹Haiki-Cobat 2024.

attenzione alle aree più dense di veicoli elettrici, aprendo la strada a nuovi scenari ottimizzati che garantiscano efficienza logistica e sostenibilità economica.

Bibliografia

- [1] H. Abbasi, “PORTER’S INDUSTRY ANALYSIS AND VALUE CHAIN MODEL.”, *International Journal of Advanced Research*, vol. 5, pp. 990–1003, mag. 2017. DOI: 10.21474/IJAR01/4208.
- [2] Autocar. “Battery passports: what they are and how they’ll impact EVs”. (2024), indirizzo: <https://www.autocar.co.uk/car-news/electric-cars/battery-passports>.
- [3] BioLogic, *Battery States: State of Charge (SoC), State of Health (SoH)*, 2024. indirizzo: <https://www.biologic.net/topics/battery-states-state-of-charge-soc-state-of-health-soh/>.
- [4] Centro di Coordinamento Nazionale Pile e Accumulatori, *I Consorziati*, 2025. indirizzo: <https://cdcnpa.it/chi-siamo/i-consorziati/>.
- [5] Cobat, *Rete di Raccolta e Stoccaggio*, 2024. indirizzo: <https://www.cobat.it/piattaforma/rete/raccolta-e-stoccaggio>.
- [6] Council of the European Communities, *Directive 91/157/EEC of the Council of 18 March 1991 on batteries and accumulators containing certain dangerous substances*, Official Journal of the European Union, 1991. indirizzo: <http://data.europa.eu/eli/dir/1991/157/oj>.
- [7] “Ecodesign”. (2020), indirizzo: <https://economiecircolare.com/glossario/ecodesign/>.

- [8] “Ecodesign: nuove regole, dall’efficienza energetica alla riciclabilità”. (2018), indirizzo: <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20180522ST004021/ecodesign-nuove-regole-dall-efficienza-energetica-alla-riciclabilita>.
- [9] European Commission, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: The European Green Deal*, COM/2019/640 final, 2019. indirizzo: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>.
- [10] European Commission, *Waste Framework Directive*, 2024. indirizzo: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en.
- [11] European Parliament and Council, *Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles*, Official Journal of the European Union, 2000. indirizzo: <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/53/oj>.
- [12] European Parliament and Council, *Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC (Text with EEA relevance)*, Official Journal of the European Union, Consolidated version: 04/07/2018, 2006. indirizzo: <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/66/oj>.
- [13] European Parliament and Council, *Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC*

- and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC, Official Journal of the European Union, 2006. indirizzo: <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj>.
- [14] European Parliament and Council, *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)*, Official Journal of the European Union, 2008. indirizzo: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>.
- [15] European Parliament and Council, *Regulation (EU) 2019/1020 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on market surveillance and compliance of products, and amending Directive 2004/42/EC and Regulations (EC) No 765/2008 and (EU) No 305/2011 (Text with EEA relevance)*, Official Journal of the European Union, 2019. indirizzo: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1020/oj>.
- [16] European Parliament and Council, *Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC (Text with EEA relevance)*, Official Journal of the European Union, 2023. indirizzo: <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj>.
- [17] Y. Gupt e S. Sahay, “Review of extended producer responsibility: A case study approach”, *Waste Management Research*, vol. 33, 595â 611, lug. 2015. DOI: 10.1177/0734242X15592275.
- [18] Haiki-Cobat, *Information on electric vehicles and battery recycling*, Shared by Haiki-Cobat, 2024.

-
- [19] R. Italiana, *Decreto legislativo n. 152 del 3 aprile 2006, Norme in materia ambientale*, Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006, apr. 2006. indirizzo: <https://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/materiaAmbientale>.
- [20] Y. Lan et al., “Current status and outlook of recycling spent lithium-ion batteries”, *Journal of Energy Storage*, vol. 110, 2025-02, ISSN: 2352-152X.
- [21] W. Leal Filho et al., “An overview of the problems posed by plastic products and the role of extended producer responsibility in Europe”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 214, pp. 550–558, 2019, ISSN: 0959-6526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.256>. indirizzo: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618339799>.
- [22] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Registro Decreti (R) 0000588 - 10/12/2024*, 2024. indirizzo: https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/documentazione/2024-12/m_inf.AFC41FC.REGISTRO%20DECRETI%28R%29.0000588.10-12-2024.pdf.
- [23] Motus-E, “Il riciclo delle batterie dei veicoli elettrici @2050: scenari evolutivi e tecnologie abilitanti”, Motus-E, 2023. indirizzo: https://www.motus-e.org/studi_e_ricerche/il-riciclo-delle-batterie-dei-veicoli-elettrici-2050-scenari-evolutivi-e-tecnologie-abilitanti/.
- [24] U. Nations, *ADR 2023 - Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*, Applicable as from 1 January 2023. Copyright © United Nations, 2022, New York e Geneva, 2023.
- [25] OECD, “Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments”, Paris, 2001. DOI: 10.1787/9789264189867-en. indirizzo: <https://doi.org/10.1787/9789264189867-en>.

- [26] S. Ojanen, M. Lundstrom, A. Santasalo-Aarnio e R. Serna-Guerrero, “Challenging the concept of electrochemical discharge using salt solutions for lithium-ion batteries recycling”, *Waste Management*, vol. 76, pp. 242–249, 2018, ISSN: 0956-053X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.045>. indirizzo: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18301879>.
- [27] M. Ottaviani, *Waste batteries: istruzioni per l’imballaggio e il trasporto stradale e marittimo di rifiuti di batterie classificate merci pericolose*. Hyper srl, 2021.
- [28] RAEE.MAN, *Raccolta e trattamento batterie auto elettriche*, <https://www.raeeman.it/raccolta-e-trattamento-batterie-auto-elettriche.php>, 2025.
- [29] P. della Repubblica Italiana, *Regolamento recante la disciplina dell’Autorizzazione Unica Ambientale (AUA)*, Gazzetta Ufficiale n. 124 del 29 maggio 2013, 2013. indirizzo: <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:presidente.repubblica:decreto:2013-03-13;59>.
- [30] C. C. N. R. e Riciclo, *Percorso Cobat - Gestione integrata dei rifiuti*, 2025. indirizzo: <https://www.percorsocobat.it/>.
- [31] SNE Research, *Global Monthly EV and Battery Monthly Tracker*, nov. 2024. indirizzo: <https://www.sneresearch.com/en/business/tracker/>.
- [32] T. Stobierski, “What Is a Value Chain Analysis? 3 Steps”, *Harvard Business School Online*, 2020. indirizzo: <https://online.hbs.edu/blog/post/what-is-value-chain-analysis>.
- [33] UNRAE, *L’auto 2022 - Sintesi statistica UNRAE*, 2022. indirizzo: <https://unrae.it/dati-statistici/dati-storici/6241/lauto-2022-sintesi-statistica-unrae>.

- [34] UNRAE, *Top 10 per alimentazione - Dicembre 2024*, 2024. indirizzo: <https://unrae.it/dati-statistici/immatricolazioni/6986/top-10-per-alimentazione-dicembre-2024>.
- [35] E. Watkins, S. Gionfra, J.-P. Schweitzer, M. Pantzar, C. Janssens e P. ten Brink, “EPR in the EU Plastics Strategy and the Circular Economy: A Focus on Plastic Packaging”, Institute for European Environmental Policy, Brussels, 2017. indirizzo: <https://ieep.eu/publications/more-ambitious-extended-producer-responsibility-for-plastics-through-greater-eco-modulation-of-fees/>.
- [36] W. Zhang, C. Xu, W. He, G. Li e J. Huang, “A review on management of spent lithium ion batteries and strategy for resource recycling of all components from them”, *Waste Management & Research*, vol. 36, n. 2, pp. 99–112, 2018. DOI: 10.1177/0734242X17744655. indirizzo: <https://doi.org/10.1177/0734242X17744655>.
- [37] Y. Zhao et al., “A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling”, *Sustainable Chemistry*, vol. 2, n. 1, pp. 167–205, 2021, ISSN: 2673-4079. DOI: 10.3390/suschem2010011. indirizzo: <https://www.mdpi.com/2673-4079/2/1/11>.

Appendice A

Rapporti di Massa

			PRISM	
			NMC	
Cell	Positive cathode material	Ni	PRISM	4,48%
		Co		4,50%
		Mn		4,19%
		Li		1,59%
		O		7,33%
	Active cell components	Graphite		12,33%
		Carbon black		1,49%
		Binder (PVDF)		1,89%
		Cu		10,02%
	Electrolyte	Al		5,21%
		LiPF6		1,41%
		Ethylene Carbonate		3,95%
	Case: prismatic	Dimethyl carbonate		3,95%
	Al	9,35%		
Cell Mass			71,70%	
Module	Electronics	Copper	0,23%	
		BMS	0,60%	
		Al	1,92%	
	Housing	Steel	6,72%	
		Insulation	0,06%	
		Plastic (PE)	0,10%	
Module Mass			9,62%	
Pack	Electronics	Copper	0,05%	
		BMS + JB	2,61%	
		Al	11,88%	
	Housing	Insulation	0,37%	
		Coolant	3,78%	
Pack Mass			18,68%	

Figura A.1: Rapporti di massa cella litio prismatica

La presente matrice evidenzia la percentuale in peso dei diversi componenti contenuti all'interno di celle batteria litio ione di diversa geometria e chimica.

Il rapporto fra peso del case e peso di tutto il materiale interno è stato ottenuto da analisi di laboratorio effettuata sui seguenti campioni:

- cella prismatica NMC automotive (VW eGolf);

Le percentuali in peso dei materiali contenuti nel case sono stimate da letteratura.

Winjobi, O., Dai, Q., Kelly, J.C., 2020. Update of Bill-of-Materials and Cathode Chemistry addition for Lithium-ion Batteries in GREET 2020.

Figura A.2: Informazioni Rapporti di massa

Appendice B

volumi di ritorno divisi per regione

		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Liguria	t	34	37	44	54	67	140	330	486	584	554
Piemonte	t	161	180	222	278	332	602	1293	1975	2685	2938
Abruzzo	t	26	29	35	45	56	112	263	390	463	433
Valle D'aosta	t	64	70	81	101	132	261	674	1186	1300	1110
Lombardia	t	285	318	378	479	606	1201	2712	4084	4951	4817
Trentino	t	254	282	340	434	551	1043	2387	3681	4513	4415
Veneto	t	127	142	169	216	274	556	1269	1847	2192	2066
Friuli	t	29	33	40	51	64	127	288	423	497	466
Emilia	t	146	162	191	238	294	577	1277	1961	2517	2617
Lazio	t	166	181	210	258	321	616	1399	2266	2966	3138
Molise	t	5	5	6	7	9	16	37	57	84	96
Campania	t	71	78	90	111	136	274	665	1038	1281	1251
Puglia	t	51	57	68	87	110	221	526	768	905	830
Basilicata	t	9	10	11	14	17	35	84	130	155	145
Calabria	t	28	31	37	47	58	117	286	426	507	468
Sicilia	t	67	74	87	109	134	273	656	996	1199	1137
Toscana	t	187	206	238	294	361	729	1721	2654	3351	3371
Marche	t	36	40	48	61	76	156	362	532	618	567
Umbria	t	21	24	29	37	46	95	214	316	366	340

Figura B.1: Volumi di ritorno divisi anno e regione

Appendice C

Totale chilometri nelle 3 configurazioni

Tot Km	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Conf 1	707.522	738.220	798.208	978.947	1.415.258	3.009.331	6.404.899	8.701.666	10.519.843	9.729.513
Conf 2	491.751	513.999	558.050	686.994	997.412	2.098.033	4.432.525	6.008.036	7.282.205	6.761.081
Conf 3	385.079	399.972	429.314	522.427	752.523	1.622.082	3.446.456	4.716.689	5.670.726	5.369.566

Figura C.1: Chilometri Scenario 1-2-3