

AUTOMOBILE.**Veicoli a fine vita: valutazione di costi e ricavi con uno studio elaborato dal MIT***IL CASO DI UN'AZIENDA CHE PUÒ SCEGLIERE SE PUNTARE SU SHREDDING O DISMANTLING*

Il presente lavoro, lungi dall'essere esaustivo, ha come intento quello di offrire una panoramica della fase di fine vita degli autoveicoli - con particolare riferimento ai soggetti imprenditoriali operanti in questo settore - partendo dall'analisi dei trend dei materiali utilizzati nella costruzione degli autoveicoli, attorno a cui si è sviluppata nel tempo una attività imprenditoriale, sempre più regolamentata.

Le caratteristiche del settore *automotive* hanno fatto sì che fino alla fine degli anni '80 il fattore guida per la scelta e l'introduzione di nuovi materiali fosse il costo. La spinta delle esigenze di maggior efficienza nei processi di fabbricazione e delle crescenti richieste di prestazioni e qualità da parte del mercato ha determinato l'interessamento da parte delle case automobilistiche a materiali innovativi.

L'osservazione dei trend dei pesi medi totali degli autoveicoli a partire dagli anni '80, ha evidenziato due tendenze opposte:

- decremento di peso dovuto alla variazione delle percentuali di peso dei materiali impiegati;
- incremento di peso dovuto alle crescenti esigenze di confort, sicurezza attiva/passiva, prestazioni.

In sintesi, i trend evolutivi degli impieghi percentuali dei materiali costituenti l'autoveicolo sono quelli della figura 1.

Il trend di crescita delle plastiche nel mix di materiali utilizzati negli autoveicoli ha registrato un decremento nel ventennio successivo: se da un lato le plastiche consentono risparmi di peso, maggiore libertà stilistica, incremento della resistenza alla corrosione, maggiori capacità isolanti ed assorbenti, maggiori capacità di variazioni stilistiche, dall'altro i problemi relativi ad invecchiamento, i fenomeni di espansione/contrazione e la qualità superficiale ne hanno limitato un più estensivo utilizzo, come evidenziato nella figura 2.

Anche per le plastiche, come per qualunque altro tipo di materiale, i fattori che ne decidono l'impiegabilità sono le caratteristiche meccaniche, la qualità in generale, i costi di produzione. Considerando la produzione automobilistica europea, il contenuto medio dei materiali plastici negli anni '80 era di circa 90 kg, valore cresciuto a circa 140 kg a metà degli anni '90. La progressiva evoluzione degli autoveicoli ha tuttavia modificato le connotazioni del problema, apparendo sempre più decrescente la profittabilità della rottamazione, a seguito dell'incremento percentuale delle plastiche nelle auto demolite, come mostra la figura 3 (l'anno 0 è il 1969).

Appare chiaro che la modifica nelle percentuali dei materiali costituenti l'autoveicolo entra in conflitto con la sua riciclabilità: infatti la riduzione di peso delle auto limita l'ammontare di materiale che può essere rivenduto con profitto, e la crescente frazione di materiali non metallici leggeri incrementa l'ammontare del residuo non metallico (*fluff*) del macinatore (*shredder*) da destinarsi a discarica (*landfill*).

Fino al 1993, l'osservazione dei ricavi/costi dell'attività di *shredding* ha evidenziato un andamento tendenziale decrescente dei profitti, esprimibile attraverso la figura 4, avente come anno zero il 1976.

L'AUTORE.

L'ingegnere **Luca Carboni** è segretario della Sezione Sardegna dell'ATA, l'Associazione Tecnica dell'Automobile.

telefono: 349.0963519
e-mail: lucacarboni@virgilio.it

Figura 1. Materiali negli autoveicoli, 1965-1995

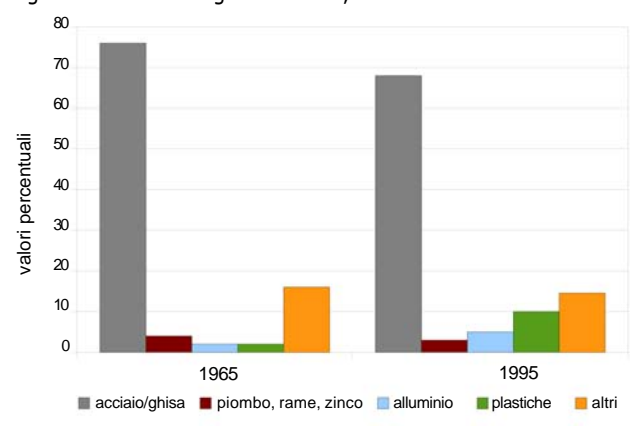


Figura 2. Materiali negli autoveicoli, 2007-2015

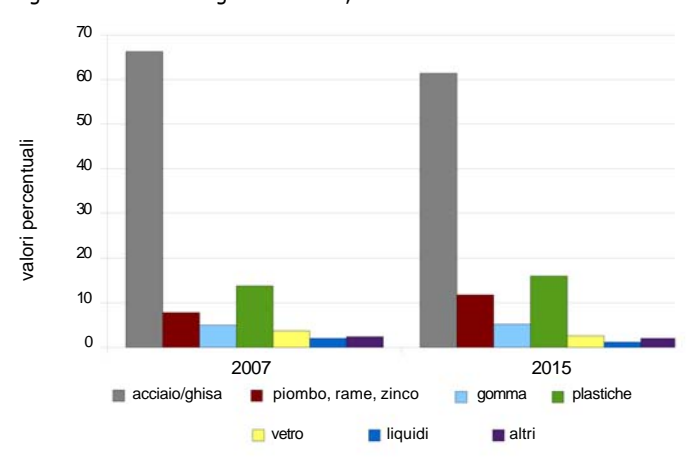
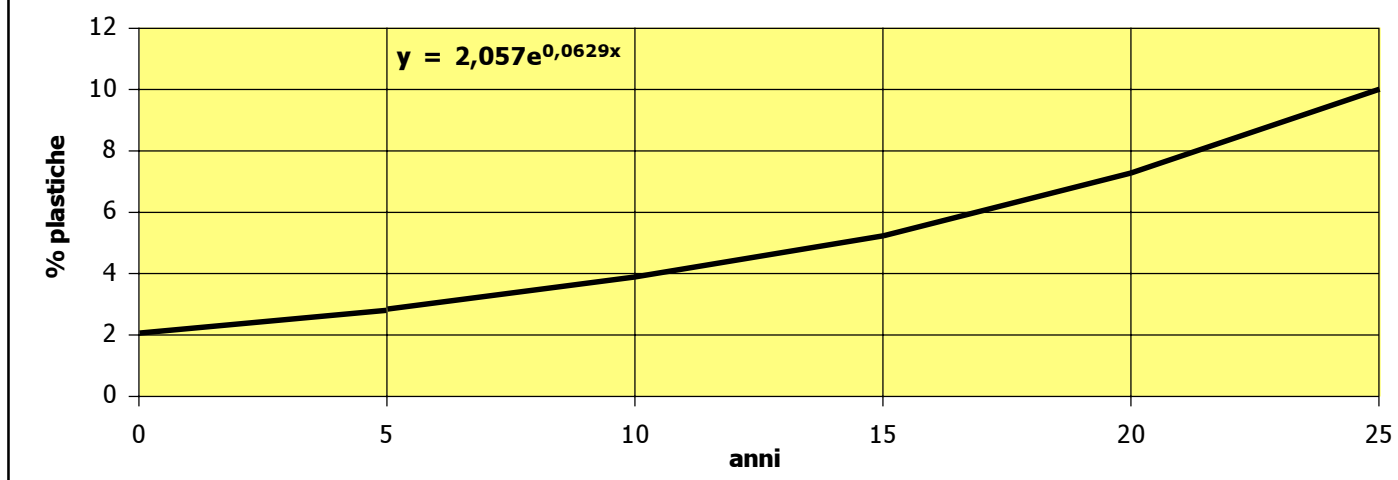


Figura 3. Percentuale delle plastiche nelle auto demolite



L'osservazione della variazione del profitto da shredding in funzione delle plastiche in ottica *ceteris paribus* è stata fatta in considerazione della sensibile variazione della percentuale delle plastiche in un significativo intervallo di tempo. Come conseguenza dell'evoluzione sia della composizione degli autoveicoli che del relativo mercato di riferimento e della sua inevitabile espansione, il ciclo di fine vita degli autoveicoli è stato progressivamente normato e sottoposto a vincoli legislativi, sia a livello comunitario che nazionale.

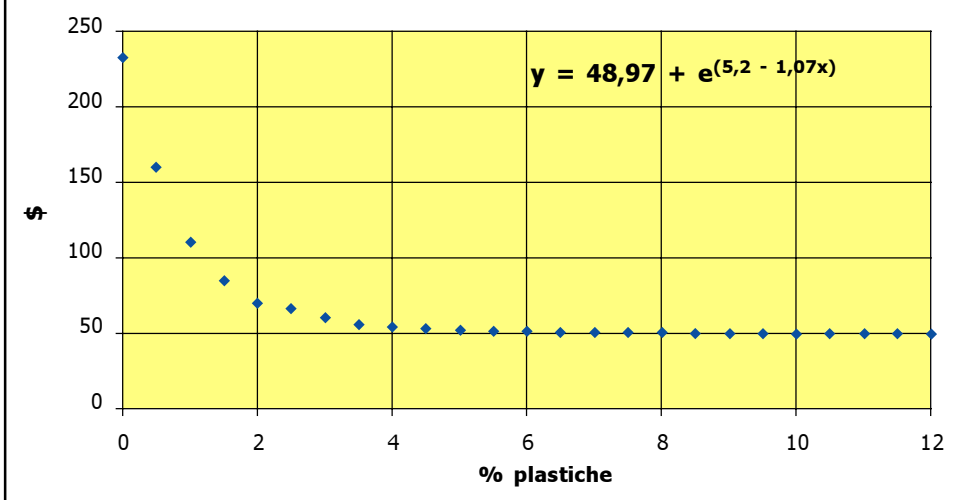
A titolo esemplificativo, si citano la Direttiva 2006 / 12 CE, il Decreto Ronchi,

la Direttiva 2005/64 CE, la Direttiva 2000 / 53 CE, il Dlgs 209 / 2003, il Dlgs 149 / 2006 relativo i veicoli ed i rifiuti ad esso relativi. La legislazione europea – ed il conseguente recepimento italiano – hanno definito obiettivi di filiera a livello di

- *bonifica*: olii, fluidi, batterie (impatto ambientale degli *End of Life Vehicles*);
- *smontaggio per reimpiego* (profitabilità ELV);
- *smontaggio per riciclaggio* (profitabilità ELV, impatto ambientale ELV).

L'effetto dei vincoli legislativi ha portato alla sistematizzazione delle attività in ambito ELV, influenzando di riflesso anche sulla fase di progettazione dell'autoveicolo, con la costituzione di una catena di fornitura di materiale

Figura 4. Rapporto fra profitto dell'attività di shredding e percentuale di plastiche negli ELV



riciclato, ovvero della applicazione sistemica di materiale riciclato, come esemplificato dalla figura 5.

Le normative via via introdotte hanno portato alla progressiva razionalizzazione delle attività in ambito ELV. Esemplificativo in tal senso è il caso della WestRecycling, azienda di Macchiarèdu che ha sviluppato uno studio in collaborazione con la Sezione Sardegna di ATA relativo alla applicazione di strumenti di gestione e controllo del processo produttivo relativo al trattamento degli autoveicoli a fine vita, quali GANNT ed FMEA / FMECA. Lo studio è stato occasione di verifica del modello di analisi di costi/ricavi sviluppato dal Massachusetts Institute of Technology di Boston.

La FMEA – *Failure Mode Effects Analysis*, ovvero l'analisi degli effetti dei guasti e della relativa gravità sia a livello di prodotto che, come in questo caso, a livello di processo produttivo con le relative azioni correttive applicate - si è rivelata particolar-

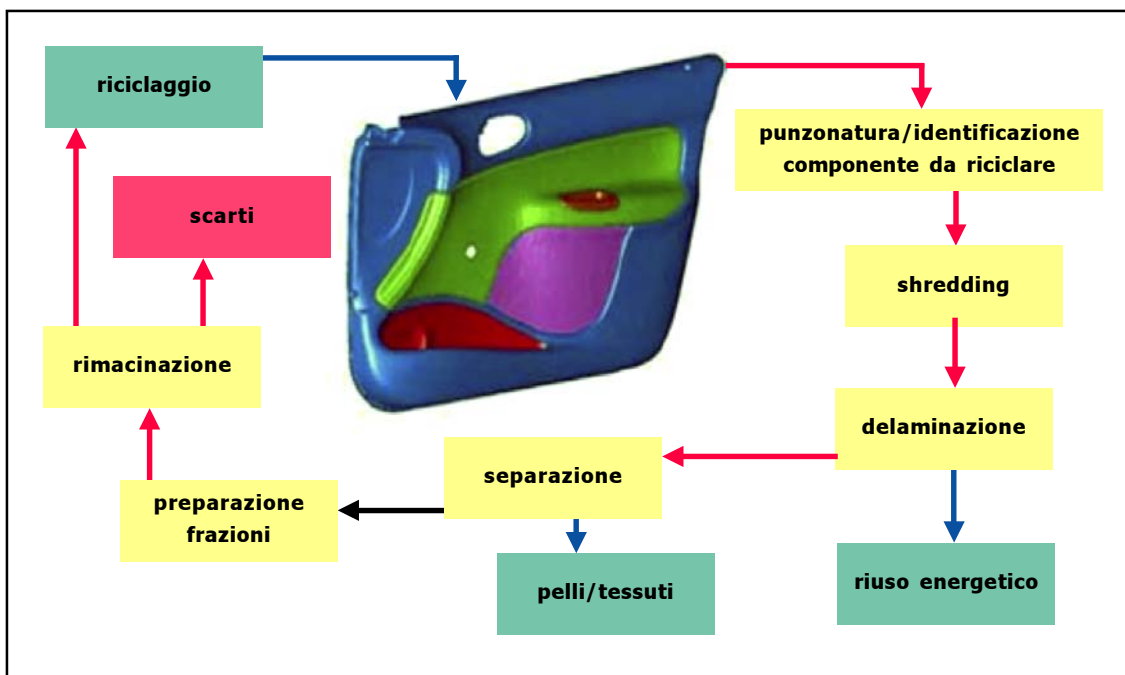


Figura 5. Riciclaggio pannello porta: sequenza operazioni e loro output

mente valida come strumento decisionale, con benefici a livello di costi di processo. L'analisi delle attività di WestRecycling ha evidenziato alcune criticità nel processo produttivo del *dismantling*. In particolare, la FMEA ha potuto evidenziare le criticità tipiche dello smontaggio di parti complesse realizzate in plastiche non omogenee, quali ad esempio la plancia, i pannelli porta, le scatole portafiltri, i paraurti multimateriale.

Da un punto di vista economico-ambientale, la riciclabilità delle componenti dei veicoli a fine vita citati in precedenza è estremamente variabile, con un bilancio decisamente negativo per la plancia, per passare a valori non ancora sufficienti dei pannelli porta, fino ad arrivare a soddisfacenti performances per la riciclabilità delle scatole portafiltri e - soprattutto - dei paraurti multimateriale.

Possiamo sintetizzare l'indagine a mezzo di FMEA condotta in WestRecycling ed applicata al suo processo di *dismantling* - con l'obiettivo di individuare eventuali problemi ed identificare una possibile soluzione - tramite il diagramma riprodotto nella figura 6. Come si può vedere, si parte dalla definizione di prodotto, ovvero dalla frazione metallica proveniente dalla macinazione della carcassa dell'autoveicolo - il *proler* - e dal residuo non metallico - *car fluff* - che di fatto rappresentano il prodotto delle attività di *dismantling* e *shredding*. Attraverso l'analisi del processo di *dismantling* e *shredding*, è possibile arrivare ad una definizione dei relativi cicli di lavoro con l'iterazione di questa procedura che permette di costituire un data base di estrema utilità per le attività di WestRecycling in ambito ELV.

È chiaro che la definizione di un ciclo di lavoro dettagliato di *dismantling/shredding* non può essere assimilata a quella di un omologo ciclo di assemblaggio, in considerazione delle diverse tipologie di veicoli trattati nella fase di fine vita, sia a livello di marca che di segmento di mercato e generazione. È stato possibile tuttavia definire il diagramma di flusso riprodotto nella pagina che segue.

Ricavi generati dall'ELV: il modello MIT in WestRecycling

Per valutare quantitativamente l'attività dell'ELV in WestRecycling è stato usato un modello previsionale elaborato dal Massachusetts Institute of Technology, in base al quale il costo di smaltimento di un autoveicolo è dato dalla seguente formula empirica:

$$\text{Costo riciclo} = - 48,7820 - 0,0153 F - 0,0079 N - 0,0072 U \text{ [\$]}$$

- F = massa materiali ferrosi
- N = massa materiali non ferrosi
- U = massa materiali non direttamente riciclabili

Il modello di calcolo fa riferimento a delle ipotesi iniziali relative ad una attività

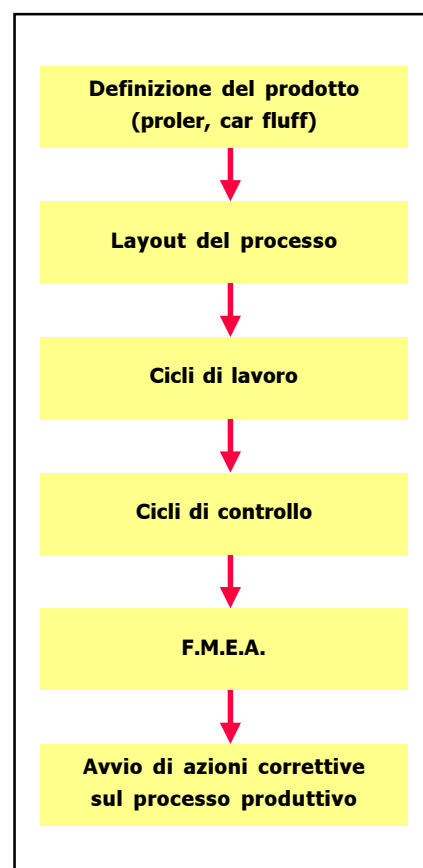
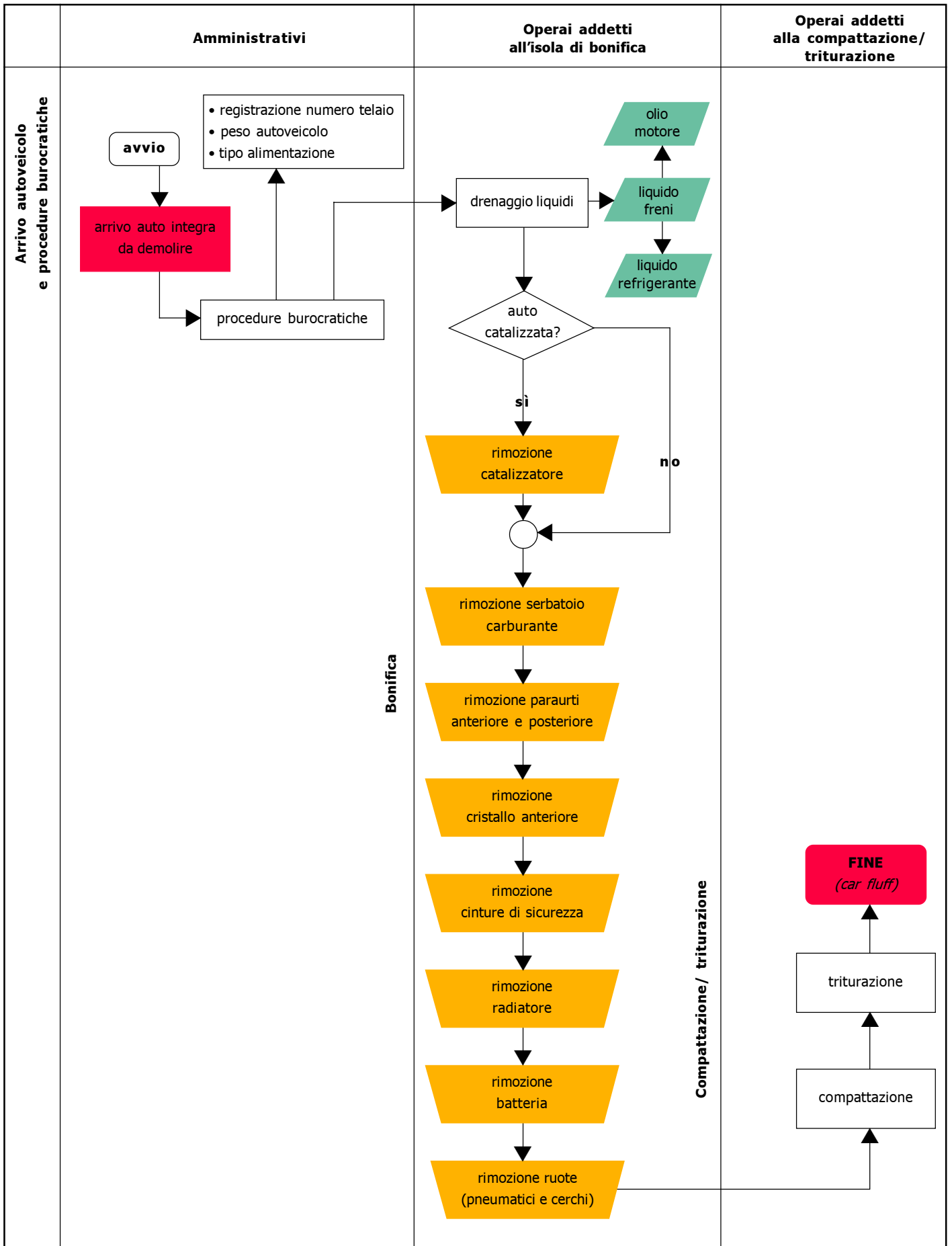


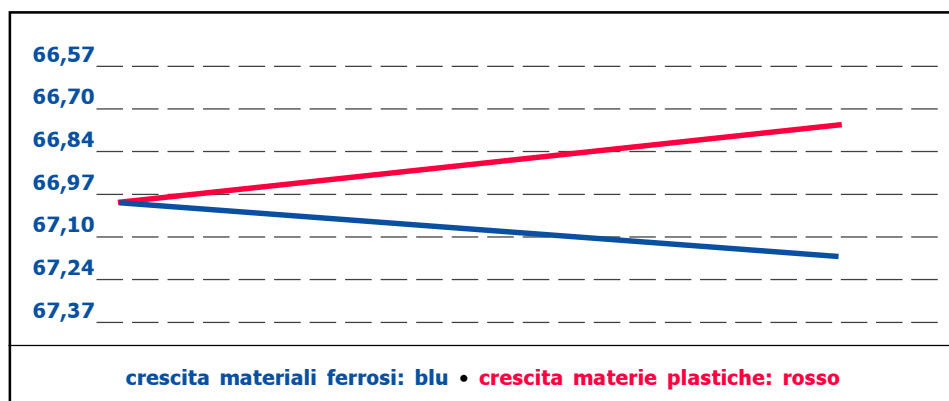
Figura 6. Fasi dell'indagine a mezzo FMEA sul processo produttivo adottato da WestRecycling.



di sola frantumazione che utilizza un impianto di trattamento di caratteristiche prestabilite:

- costo della carcassa: 50 \$
- capacità produttiva del trituratore: 70 ton/h
- impiego trituratore: 8 h/g
- tempo manutenzione: 4 h/g
- costo trasporto: 0,10 \$/ton/miglia

Con riferimento alla composizione di un autoveicolo a fine vita equivalente, abbiamo i valori ponderali dei materiali costituenti lo stesso veicolo riportati nella tabella 1. La formula empirica sopra riportata indica un valore del costo del riciclo/auto pari a 67 €, con l'andamento al variare della composizione dell'autoveicolo da rottamare sintetizzato nella figura qui sotto.



materiali	kg
AL	70,53
CU	22,45
ZN	9,07
PB	0
altri ferrosi	31,07
FE	208,20
acciaio	629,13
HSS	106,14
acciaio inox	14,06
plastiche	101,83
vetro	38,55
gomma	60,78
fluidi	81,42
altro	37,65
totale materiali non ferrosi	102,06
totale materiali ferrosi	988,60
totale materiali non direttamente riciclabili	320,24
totale	1411,10

Tabella 1. Peso dei materiali che compongono un autoveicolo equivalente.

Con riferimento al modello previsionale dei ricavi provenienti dalla rottamazione, sono necessarie anche in questo caso delle ipotesi su cui basare il modello di calcolo in grado di prevedere i ricavi generati dalla presenza dei metalli ferrosi nei prodotti derivanti dalla triturazione:

- valore dei residui ferrosi: 75 €/ton
- valore dei residui da metalli non ferrosi: 681 €/ton
- efficienza separazione metalli ferrosi: 90%
- efficienza separazione metalli non ferrosi: 90%

La formula di derivazione empirica è in questo caso la seguente (in \$):

$$\text{ricavi da metalli ferrosi} = 2,2248 + 0,0376F + 0,0055N - 0,0068U \text{ (\$)}$$

F = massa totale materiali ferrosi contenuti nel veicolo
 N = massa totale materiali non ferrosi contenuti nel veicolo
 U = massa materiali non riciclabili.

Si ottiene un ricavo di 60,74 €/veicolo, cui si aggiunge il ricavo derivante dalla vendita dei metalli non ferrosi, i cui ammontari sono definiti da (in \$):

$$\text{ricavi da metalli non ferrosi} = 0,2025 \text{ Al} + 0,3038 \text{ Cu} + 0,4050 \text{ Zn} \text{ (\$)}$$

Al = quantitativo in kg di Al nell'autoveicolo
 Cu = quantitativo in kg di Cu nell'autoveicolo
 Zn = quantitativo in kg di Zn nell'autoveicolo.

Sempre per il veicolo equivalente già citato, otteniamo un ricavo pari a 41,16 €.

La sommatoria dei ricavi e dei costi del veicolo equivalente è dunque pari a 34,3 €/auto. Questo valore è al lordo dei costi di conferimento in discarica di materiali non recuperabili, differenti a seconda delle aree dove si svolge l'attività di dismantling.

L'applicazione dello studio del MIT in WestRecycling ha messo in evidenza la difficoltà di stabilire le quotazioni di acquisto e vendita dei materiali provenienti dal dismantling delle autovetture a fine vita, per i quali è pressoché impossibile stabilire un prezzo standard. Risultano esclusi i componenti per i quali esistono centri di raccolta, quali batterie e oli motore/cambio.

WestRecycling ha l'opzione di intraprendere due differenti attività: dismantler

Bibliografia

- Gros Pietro, *Economia dell'impresa* – Edizioni Il Mulino
- Carboni, *Valutazione tecnico economica delle attuali possibilità di riuso riciclo degli autoveicoli a fine vita* – Centro Ricerche FIAT, 1993
- Innocenti, *Analisi delle possibilità di riciclaggio degli autoveicoli a fine vita* – Centro Ricerche FIAT, 2005
- Bonino, *ELV management in Italy: state of art and future development* – Centro Ricerche FIAT / Florence ATA Vehicle Architectures, 2007
- Berruti, *Rules and responsibilities for an effective legislative application* – FIAT Group Automobiles / Florence ATA Vehicle Architectures, 2007
- Choquet, *Recycled materials to design vehicles interiors* – VISTEON / Florence ATA Vehicle Architectures, 2007
- Ferrante, *Analisi delle performances tecnico-economiche del sistema di ELV in Sardegna* – Università di Cagliari, Facoltà di Ingegneria, 2009

componenti	Kg/ auto	€/Kg	€/auto
olio motore	4,10	0	0
olio freni	0,13	1,00	0,13
liquido antigelo	3,10	0,60	1,86
catalizzatori	0,30	116,60	35,00
pneumatici	32,00	0,20	6,40
vetro	22,00	0,25	5,50
serbatoi	3,10	0,13	0,40
motore/cambio	133,00	0,30	39,90
carcassa	436,00	0,03	13,08

Tabella 2. Costi di smaltimento e ricavi dal recupero dei componenti di un'auto smantellata.

attività	costi (€)	ricavi (€)	profitto (€)
vendita catalizzatore, carcassa veicolo, motore	87,98	87,98	
bonifica autovettura	14,23	73,75	
manodopera	12,63		61,06

Tabella 3. Costi, ricavi e profitti derivanti dallo smantellamento di un veicolo equivalente.

materiale	%	massa kg	€/kg	totale €
acciaio	59	619,5	0,135	41,82
Zn, Cu, Pb	2	21	2	37,80
Al	8	84	1	75,60
car fluff	25	262,5	0,2	52,50
totale				102,75

Tabella 4. Costi, ricavi e profitti derivanti dalla frantumazione di un veicolo equivalente.

po di smontaggio ammonta a circa 30 minuti per veicolo. A queste cifre dovrebbero essere si aggiunti i costi di alcuni componenti di cui non si conosce il valore di costo, ma che in ogni caso incidono sulle spese totali. I ricavi complessivi unitari ammontano a 87,98 €, con un profitto unitario di 61,06 €, come da

l'autoveicolo equivalente di cui sopra.

La voce acciaio fa riferimento al "Proler CECA 33", ovvero un residuo ferroso che – per qualità e densità – è particolarmente richiesto dalle acciaierie. Per questa voce si è considerata una percentuale di recupero del 90%, ridotta al 60% in considerazione del fatto che non tutto il materiale ricavato ha caratteristiche rispondenti alle norme CECA CAT 33.

Anche per i metalli pregiati quali Zn, Cu, Mg, e anche Al si è considerata una percentuale di recupero del 90%. Per il *car fluff*, la percentuale è quella indicata dagli stessi costruttori per la frantumazione degli autoveicoli, ovvero 25% della massa totale dell'autoveicolo. Il restante 6% non compreso nel computo in tabella fa riferimento a parti dell'autoveicolo rimosse precedentemente la frantumazione, ovvero in fase di bonifica.

Ai valori appena visti vanno aggiunti i ricavi provenienti dalla vendita del catalizzatore e detratti gli importi relativi alla bonifica del veicolo da rottamare e alla manodopera. La sintesi costi/ricavi è espressa nella tabella qui sotto.

voci	costi (€)	ricavi (€)	profitto (€)
vendita proler, metalli pregiati (Zn, Cu, Mg, Al)	102,71	102,71	
vendita catalizzatore	35,00	137,71	
bonifica autovettura	14,23	123,48	
manodopera	12,63		110,85

In conclusione, possiamo dire che l'applicazione in WestRecycling dello studio elaborato dal MIT è uno strumento di indagine per poter prendere decisioni in merito al dimensionamento futuro dello stabilimento, anche alla luce delle indicazioni sopra ricordate, ovvero della maggior profittabilità dell'attività di shredding rispetto a quella di dismantling.

Luca Carboni