

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione



Dottorato di Ricerca in Tecnologie e Sistemi di Produzione
Indirizzo Gestione dei processi e dei sistemi

**La Gestione dei Sistemi di Rifabbricazione: opportunità
ed aspetti critici**

Coordinatore
Prof. Ing. Giuseppe Giorleo

Tutor
Prof. Ing. V. Zoppoli

Dottorando
Ing. Mosè Gallo

XXI Ciclo di Dottorato

RINGRAZIAMENTI

La stesura di una tesi di dottorato è un lavoro che trascende le possibilità di una singola persona, per tale motivo alla fine di questo percorso desidero ringraziare le persone che a vario titolo mi hanno accompagnato nella non facile attività della ricerca scientifica.

Rivolgo un primo e doveroso ringraziamento alla Prof.ssa Tina Santillo e al Prof. Vincenzo Zoppoli per la sicura guida scientifica e la costante disponibilità.

Altrettanto sentito è il ringraziamento ai miei colleghi ed amici del dipartimento Teresa Murino, Guido Guizzi, Luigi Guerra, Pasquale Zoppoli, Elpidio Romano, Roberto Grisi, Rosanna Esposito e Giuseppe Naviglio per il supporto psicologico e non, e per i momenti condivisi.

Un ringraziamento particolare va ai tanti amici del treno che con la loro rumorosa presenza hanno spesso accompagnato ed allietato le mie letture durante le lunghe ore di viaggio.

L'ultimo e più importante ringraziamento va a Roberta per la pazienza di questi ultimi giorni.

A mia madre e a mio padre

*“Niente di grande
è stato fatto al mondo
senza il contributo
della passione”*

Georg Hegel

ABSTRACT

Il crescente tasso di innovazione tecnologica dei prodotti sta spingendo verso nuovi modelli di profitto, fondati su una gestione integrata del ciclo di vita dei prodotti. Politiche innovative orientate al recupero dei prodotti, infatti, da un lato migliorano l'efficienza nei consumi delle risorse naturali, dall'altro aprono nuove opportunità di business per i produttori. Tra le diverse opzioni di recupero dei prodotti assume particolare importanza ed interesse quella rifabbricazione.

Obiettivo del presente lavoro è quello di studiare il multiforme settore della rifabbricazione e di individuare fattori strategici ed operativi per rendere tale business *sostenibile* da un punto di vista economico.

L'economicità di funzionamento di un sistema di rifabbricazione, infatti, dipende fortemente sia da decisioni di tipo strategico (configurazione della rete logistica, opportunità di servire mercati secondari, prezzi dei prodotti nuovi e rifabbricati, progettazione di nuovi prodotti) sia da decisioni di tipo tattico (pianificazione e controllo dell'approvvigionamento dei materiali e delle attività produttive).

Nel primo capitolo sono stati riportati i modelli per la gestione integrata del ciclo di vita di un prodotto e le diverse opzioni di recupero per un prodotto a fine vita.

Nel secondo capitolo è stato stilato il profilo dell'industria della rifabbricazione con particolare riferimento al suo modello di business.

Nel terzo capitolo sono state approfondite le tematiche della pianificazione delle attività per una *supply chain a ciclo chiuso*, evidenziando le differenze tra i sistemi di produzione tradizionali e quelli di rifabbricazione.

Nel quarto capitolo, poi, sono stati riportati alcuni modelli, presenti in letteratura, per pianificazione ed il controllo dei materiali nei sistemi di rifabbricazione e sono state confrontate, attraverso uno studio di simulazione, diverse politiche di produzione.

Nel quinto capitolo è stato affrontato il problema della valutazione di convenienza dei mercati secondari e della loro gestione per un produttore che già effettua il recupero dei prodotti a fine vita.

Infine nel sesto capitolo è stato formulato il paradigma della progettazione orientata alla rifabbricazione ed è stato proposto un modello logico per la valutazione di rifabbricabilità di un generico prodotto.

INDICE

PREMESSA	1
PRODUZIONE ED AMBIENTE	2
1.1 PRODUZIONE ECO-COMPATIBILE E RECUPERO DEI PRODOTTI	3
1.2 LA PRODUZIONE ECO-COMPATIBILE	4
1.2.1 <i>La Progettazione Eco-Compatibile</i>	5
1.3 IL RECUPERO DEL PRODOTTO	12
1.3.1 <i>Riuso</i>	15
1.3.2 <i>Riparazione</i>	15
1.3.3 <i>Ricondizionamento</i>	16
1.3.4 <i>Cannibalizzazione</i>	17
1.3.5 <i>Riciclo</i>	17
1.3.6 <i>Rifabbricazione</i>	18
1.4 ANALISI DI UN PROCESSO DI RIFABBRICAZIONE	22
1.5 CRITICITÀ DEL PROCESSO DI RIFABBRICAZIONE	29
1.5.1 <i>Difficoltà nel disassemblaggio del prodotto</i>	30
1.5.2 <i>Incertezza nella qualità dei ritorni</i>	31
1.5.3 <i>Difficoltà nell'accoppiamento delle parti</i>	33
1.5.4 <i>Incertezza nei cicli di lavorazione e nei tempi di trattamento</i>	34
1.5.5 <i>Bilanciamento del ritorno dei prodotti con la domanda</i>	35
1.5.6 <i>Incertezza nella quantità e nel tempo di ritorno dei prodotti</i>	37
1.5.7 <i>Configurazione e gestione di una rete di logistica inversa</i>	38
IL BUSINESS DELLA RIFABBRICAZIONE	40
2.1 CARATTERISTICHE DI UN PRODOTTO RIFABBRICABILE	41
2.2 LE CIFRE DEL BUSINESS	43
2.3 MODELLO DI BUSINESS	49
2.3.1 <i>Value proposition</i>	49
2.3.2 <i>Attori</i>	52
2.3.3 <i>Sistema del valore</i>	55
2.3.4 <i>Relazione col cliente</i>	59
2.3.5 <i>Mercato di riferimento</i>	62
2.3.6 <i>Analisi SWOT</i>	66
2.4 BENEFICI DELLA RIFABBRICAZIONE	67
2.4.1 <i>Ritorni ambientali</i>	67
2.4.2 <i>Aspetti economici</i>	70
2.4.3 <i>Motivazioni di politica aziendale</i>	73
GESTIONE DI UNA SUPPLY CHAIN A CICLO CHIUSO	77
3.1 CARATTERISTICHE DI UNA SUPPLY CHAIN A CICLO CHIUSO	78
3.1.1 <i>Gli ambienti ReManufacture-To-Stock (RMTS)</i>	79
3.1.2 <i>Gli ambienti ReAssemble-To-Order (RATO)</i>	80
3.1.3 <i>Gli ambienti ReManufacture-To-Order (RMTO)</i>	82
3.1.4 <i>Confronto dei diversi contesti di rifabbricazione</i>	84
3.2 CONFRONTO TRA STRATEGIE DI FABBRICAZIONE E DI RIFABBRICAZIONE	84
3.3 ATTIVITÀ DI PIANIFICAZIONE IN UN SISTEMA DI RIFABBRICAZIONE	86
3.3.1 <i>La pianificazione a livello di core</i>	88
3.3.2 <i>La pianificazione a livello di componente</i>	90
3.4 LA GESTIONE DEI MATERIALI A DOMANDA DIPENDENTE	93
3.4.1 <i>Il metodo del punto di riordino nella rifabbricazione</i>	93
3.4.2 <i>Il metodo del ciclo di riordino nella rifabbricazione</i>	95
3.4.3 <i>MRP nei sistemi di rifabbricazione</i>	97
3.4.4 <i>Il metodo EOQ per la rifabbricazione</i>	99

POLITICHE DI GESTIONE DELLE SCORTE NEI SISTEMI DI RIFABBRICAZIONE	111
4.1 ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE	112
4.1.1 <i>Modelli a revisione periodica</i>	112
4.1.2 <i>Modelli a revisione continua</i>	113
4.2 MODELLO LOGICO, ANALITICO E IPOTESI DI BASE.....	117
4.2.1 <i>Modello logico</i>	118
4.2.2 <i>Funzione obiettivo</i>	121
4.3 COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE	122
4.3.1 <i>Modelli per le politiche Push 1 e Push 2 e Pull</i>	122
4.3.2 <i>Verifica e validazione del modello</i>	126
4.3.3 <i>Durata e numero delle iterazioni</i>	126
4.3.4 <i>Procedura di ottimizzazione</i>	127
4.4 ANALISI DEL MODELLO.....	127
4.4.1 <i>Scelta degli scenari e dei valori dei parametri del modello</i>	127
4.4.2 <i>Analisi dei risultati</i>	130
4.5 CONCLUSIONI	144
LA GESTIONE DEI MERCATI SECONDARI	145
5.1 INTRODUZIONE	146
5.2 ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE	147
5.3 MODELLO LOGICO, ANALITICO ED IPOTESI DI BASE.....	149
5.3.1 <i>Modello logico</i>	150
5.3.2 <i>Modello analitico</i>	155
5.4 CREAZIONE DEL MODELLO	161
5.4.1 <i>Simulazione</i>	167
5.4.2 <i>Verifica e validazione del modello</i>	167
5.4.3 <i>Durata e numero di iterazioni</i>	168
5.4.4 <i>Procedura di ottimizzazione</i>	169
5.5 ANALISI DEL MODELLO.....	169
5.5.1 <i>Scelta degli scenari e dei valori dei parametri del modello</i>	170
5.5.2 <i>Pianificazione degli esperimenti</i>	172
5.5.3 <i>Analisi dei risultati della simulazione</i>	173
5.5.4 <i>Valutazione del livello di servizio</i>	182
5.5.5 <i>Effetti della variazione del prezzo di vendita sul mercato secondario</i>	183
5.6 DIMENSIONE OTTIMALE DEL MERCATO SECONDARIO.....	191
5.7 LA GESTIONE DEL MERCATO SECONDARIO	196
5.7.1 <i>Le strategie di controllo analizzate</i>	197
5.7.2 <i>Regole di priorità nel processo di rifabbricazione</i>	198
5.7.3 <i>Confronto delle strategie di controllo dei prodotti destinati al mercato secondario</i>	202
5.7.4 <i>Difficoltà degli OEM nella gestione del mercato secondario</i>	210
5.8 CONCLUSIONI	213
PROGETTARE PER LA RIFABBRICAZIONE	214
6.1 STRATEGIE DI PROGETTAZIONE PER LA RIFABBRICAZIONE.....	215
6.2 DESIGN FOR REMANUFACTURING	219
6.2.1 <i>Design for core collection</i>	222
6.2.2 <i>Design for disassembly</i>	225
6.2.3 <i>Design for multiple life cycle</i>	229
6.2.4 <i>Design for evaluation</i>	232
6.3 DESIGN FOR UPGRADE E CONCETTO DI MODULARITÀ.....	233
6.4 VALUTAZIONE DI RIFABBRICABILITÀ	237
6.4.1 <i>Modello logico</i>	238
6.5 CONCLUSIONI	245
CONCLUSIONI	246
BIBLIOGRAFIA	247

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1-1: INTERAZIONE TRA LE DIVERSE STRATEGIE AMBIENTALI (GUNGOR, ET AL., 1999)	4
FIGURA 1-2: MODELLO DI PRODUZIONE CONSAPEVOLE DAL PUNTO DI VISTA AMBIENTALE (GUNGOR, ET AL., 1999)	5
FIGURA 1-3: INTERAZIONE TRA LE ATTIVITÀ NEL CORSO DEL CICLO DI VITA DI UN PRODOTTO. (GUNGOR, ET AL., 1999)	6
FIGURA 1-4: STRATEGIE DI DESIGN FOR ENVIRONMENT (BREZET, ET AL., 1997)	10
FIGURA 1-5: SISTEMA DI PRODUZIONE A CICLO APERTO E A CICLO CHIUSO. (NASR, ET AL., 2006)	12
FIGURA 1-6: RECUPERO DI UN PRODOTTO IN UNA CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN (THIERRY, ET AL., 1995)	14
FIGURA 1-7: GERARCHIA TRA PROCESSI DI RECUPERO DI UN PRODOTTO DESTINATO AD UN MERCATO SECONDARIO.(IJOMAH, 2002)	21
FIGURA 1-8: UN GENERICO PROCESSO DI RIFABBRICAZIONE.(SUNDIN, 2004)	23
FIGURA 1-9: ILLUSTRAZIONE DELLE PREFERENZE SULLE OPZIONI DI RECUPERO IN FUNZIONE DELLA QUALITÀ DEI CORE.(OSTLIN, ET AL., 2007).....	32
FIGURA 2-1: IL CONTINUUM PRODOTTO-SERVIZIO.(SUNDIN, ET AL., 2008).....	50
FIGURA 2-2: SISTEMA DEL VALORE PER IL BUSINESS DELLA RIFABBRICAZIONE.....	57
FIGURA 2-3: STAKEHOLDERS NEL BUSINESS DELLA RIFABBRICAZIONE	59
FIGURA 2-4: SWOT ANALYSIS.....	66
FIGURA 3-1: MATRICE PRODOTTO-PROCESSO MODIFICATA (GUIDE, ET AL., 2003).....	85
FIGURA 3-2: MACRO ELEMENTI DI UN SISTEMA DI RIFABBRICAZIONE (GUIDE, ET AL., 1999).....	87
FIGURA 3-3: ORIZZONTI DI PIANIFICAZIONE PER LE DIVERSE CATEGORIE DI COMPONENTI (OSTLIN, 2008)	91
FIGURA 3-4: FINESTRA TEMPORALE DI RIPROCESSAMENTO (OSTLIN, 2008)	92
FIGURA 3-5: SISTEMA A PUNTO DI RIORDINO PER LA RIFABBRICAZIONE (VAN DER LAAN, ET AL., 2006).....	95
FIGURA 3-6: SISTEMA A RIORDINO PERIODICO PER UN SISTEMA DI RIFABBRICAZIONE (VAN DER LAAN, ET AL., 2006).....	96
FIGURA 3-7: MODELLO DI SISTEMA IBRIDO DI RIFABBRICAZIONE	99
FIGURA 3-8: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE SCORTE IN UN SISTEMA PUSH CON DOMANDA E RITORNO DETERMINISTICI. CASO A: T_M INTERO MULTIPOLO DI T_R (VAN DER LAAN, ET AL., 2006).....	101
FIGURA 3-9: ANDAMENTO DELLE SCORTE IN UN SISTEMA PUSH CON DOMANDA E RITORNO DETERMINISTICI. CASO B: T_R INTERO MULTIPOLO DI T_M (VAN DER LAAN, ET AL., 2006).....	102
FIGURA 3-10: CONTROLLO PUSH - CASO A: CALCOLO DELLA GIACENZA MEDIA NEL MAGAZZINO PRODOTTI FINITI (VAN DER LAAN, ET AL., 2006).....	104
FIGURA 3-11: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE SCORTE IN UN SISTEMA PULL CON DOMANDA E RITORNO DETERMINISTICI. CASO A: T_M INTERO MULTIPOLO DI T_R (VAN DER LAAN, ET AL., 2006).....	109
FIGURA 3-12: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE SCORTE IN UN SISTEMA PULL CON DOMANDA E RITORNO DETERMINISTICI. CASO B: T_R INTERO MULTIPOLO DI T_M (VAN DER LAAN, ET AL., 2006).....	110
FIGURA 4-1: STRATEGIE PUSH-DISPOSAL E PULL-DISPOSAL (VAN DER LAAN, ET AL., 1997)	114
FIGURA 4-2: SISTEMA IBRIDO CARATTERIZZATO DALL'ESPLOSIONE DEL "REMANUFACTURABLE INVENTORY". (TAKAHASHI, ET AL., 2007)	118
FIGURA 4-3: SOTTOMODULI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE	122
FIGURA 4-4: MODULO DI RECUPERO E SMALTIMENTO DEI CORES.	123
FIGURA 4-5: MODULO ACQUISTO MATERIALE.....	124
FIGURA 4-6: MODULO DI PRODUZIONE PARTI	124
FIGURA 4-7: MODULO DI ASSEMBLAGGIO PRODOTTI.....	125
FIGURA 4-8: MODULO DELLA DOMANDA	125
FIGURA 4-9: MODELLO PER LA POLITICA PULL	126
FIGURA 4-10: ANDAMENTO DEI TASSI DI DOMANDA E DI RECUPERO NEL CICLO DI VITA DI UN PRODOTTO RIFABBRICABILE. .	128
FIGURA 4-11: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI MANTENIMENTO	134
FIGURA 4-12: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI SMALTIMENTO	134
FIGURA 4-13: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI PRODUZIONE DELLE PARTI	135
FIGURA 4-14: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI PENURIA PER DIFFERENTI VALORI DEL COSTO DI MANTENIMENTO	136
FIGURA 4-15: SCENARIO I- POLITICHE DI GESTIONE AL VARIARE DEL COSTO DI MANTENIMENTO	137
FIGURA 4-16: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI MANTENIMENTO	138
FIGURA 4-17: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI SMALTIMENTO	138
FIGURA 4-18: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI PRODUZIONE DELLE PARTI	139

FIGURA 4-19: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI PENURIA AL VARIARE DEL COSTO DI MANTENIMENTO.	139
.....	139
FIGURA 4-20: POLITICHE DI GESTIONE AL VARIARE DEL COSTO DI MANTENIMENTO.....	140
FIGURA 4-21: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI MANTENIMENTO	141
FIGURA 4-22: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI SMALTIMENTO	141
FIGURA 4-23: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI PRODUZIONE DELLE PARTI	142
FIGURA 4-24: VARIAZIONE DEL COSTO TOTALE RISPETTO AL COSTO DI PENURIA (COSTO DI MANTENIMENTO AL 10%).....	143
FIGURA 4-25: POLITICHE DI GESTIONE AL VARIARE DEL COSTO DI MANTENIMENTO.....	143
FIGURA 5-1: RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DI UN SISTEMA IBRIDO DI RIFABBRICAZIONE (HRMS).....	149
FIGURA 5-2: MODELLO LOGICO DEL SISTEMA IN PRESENZA DI UN MERCATO SECONDARIO.....	151
FIGURA 5-3: SUDDIVISIONE DEL MODELLO IN 4 MODULI	162
FIGURA 5-4 – MODULO DI FABBRICAZIONE	162
FIGURA 5-5 – DEFINIZIONE CAPACITÀ MASSIMA DELLA CODA.....	163
FIGURA 5-6 – MECCANISMO DI BLOCCO DOPO IL SERVIZIO	163
FIGURA 5-7 – MODULO DI RIFABBRICAZIONE	164
FIGURA 5-8 – ISPEZIONE E CLASSIFICAZIONE	164
FIGURA 5-9 – DEFINIZIONE REGOLA DI PRIORITÀ	165
FIGURA 5-10 – MODULO ASSEMBLAGGIO	165
FIGURA 5-11 – MAGAZZINO PRODOTTI FINITI.....	166
FIGURA 5-12 – MODULO RELATIVO ALLA DOMANDA	166
FIGURA 5-13 – VERIFICA DISPONIBILITÀ PRODOTTI FINITI IN MAGAZZINO	167
FIGURA 5-14- ANALISI DEL TRANSITORIO: BUFFER 8.....	168
FIGURA 5-15: RISULTATI DELL'ANALISI ANOVA SUI FATTORI CONSIDERATI	176
FIGURA 5-16: VARIAZIONE % DEL PROFITTO AL VARIARE DEL MIX DEI RITORNI.....	176
FIGURA 5-17: VARIAZIONE % DEL PROFITTO AL VARIARE DEL TASSO DI RITORNO.....	177
FIGURA 5-18: VARIAZIONE % DEL PROFITTO AL VARIARE DELLA DIMENSIONE DEL MERCATO SECONDARIO.....	177
FIGURA 5-19: VARIAZIONE % DEL PROFITTO AL VARIARE DEL TASSO DI UTILIZZAZIONE MEDIO DELL'IMPIANTO	178
FIGURA 5-20: INTERAZIONE TASSO DI RITORNO - DIMENSIONE MERCATO	180
FIGURA 5-21: INTERAZIONE MIX RITORNO - DIMENSIONE MERCATO.....	180
FIGURA 5-22: ANDAMENTI DI Δ_{π} % RISPETTO ALLA DIMENSIONE MERCATO SECONDARIO.....	181
FIGURA 5-23: LIVELLO DI SERVIZIO E DIMENSIONE MERCATO SECONDARIO	182
FIGURA 5-24: CURVE ISOPREZZO	184
FIGURA 5-25: CONFIGURAZIONE 9, M.S.=10% : PREZZO DI ROTTURA.....	186
FIGURA 5-26: CONFIGURAZIONE 1, M.S.=20%: PREZZO DI ROTTURA.	186
FIGURA 5-27: ANALISI ANOVA PER IL PREZZO DI ROTTURA	187
FIGURA 5-28: EFFETTO PRINCIPALE DEL TASSO DI RITORNO	188
FIGURA 5-29 – EFFETTO PRINCIPALE DEL MIX RITORNO	188
FIGURA 5-30: EFFETTO PRINCIPALE: TASSO DI UTILIZZO	189
FIGURA 5-31: EFFETTO PRINCIPALE: DIMENSIONE MERCATO SECONDARIO	189
FIGURA 5-32: INTERAZIONE TASSO DI RITORNO E MIX RITORNO.....	191
FIGURA 5-33: SUPERFICIE DI RISPOSTA DEL PROFITTO.....	193
FIGURA 5-34: CURVE DI RISPOSTA DEL PROFITTO	193
FIGURA 5-35- PERTURBAZIONE DEL PROFITTO	194
FIGURA 5-36: QUANTITÀ VENDUTA NEL MERCATO SECONDARIO: SUPERFICIE DI RISPOSTA IN 3-D.....	194
FIGURA 5-37: SUPERFICIE DI RISPOSTA: QUANTITÀ VENDUTA NEL MERCATO SECONDARIO	195
FIGURA 5-38: PERTURBAZIONE DELLA QUANTITÀ VENDUTA NEL MERCATO SECONDARIO	195
FIGURA 5-39: ANALISI REGOLE DI PRIORITÀ.....	200
FIGURA 5-40: CONFRONTO DELLE STRATEGIE DI CONTROLLO	202
FIGURA 5-41: STRATEGIA PULL TEMPI DI ATTESA	203
FIGURA 5-42: STRATEGIA PULL: UNITÀ VENDUTE	204
FIGURA 5-43: STRATEGIA PUSH: TEMPI DI ATTESA	204
FIGURA 5-44: STRATEGIA PUSH: UNITÀ VENDUTE	205
FIGURA 5-45: STRATEGIA PUSH 1: UNITÀ VENDUTE	206
FIGURA 5-46: STRATEGIE DI CONTROLLO: COSTI E RICAVI	207
FIGURA 5-47: STRATEGIA PULL: COSTI.....	208
FIGURA 5-48: STRATEGIA PUSH: COSTI.....	208
FIGURA 5-49: STRATEGIA PUSH 1: COSTI	208

FIGURA 5-50: CONFRONTO DELLE TIPOLOGIE DI COSTO	209
FIGURA 6-1: PROCESSO DI SVILUPPO DI UN PRODOTTO IN SENSO STRETTO (ULRICH, ET AL., 2000)	216
FIGURA 6-2: SUPPLY CHAIN INTEGRATA (FONTE: ADATTAMENTO DA WWW.REMAN.ORG).....	217
FIGURA 6-3: MIX DI STRATEGIE PER LA RIFABBRICAZIONE (THIERRY, ET AL., 1995).	219
FIGURA 6-4: I DUE LIVELLI INTERRELATI DEL DfREM (GRAY, ET AL., 2007).....	220
FIGURA 6-5: PRINCIPALI DIFFICOLTÀ IN FASE DI DISASSEMBLAGGIO (HAMMOND, ET AL., 1998).....	228
FIGURA 6-6. PRINCIPALI DIFFICOLTÀ NELLA FASE DI ASSEMBLAGGIO (HAMMOND, ET AL., 1998).....	229
FIGURA 6-7: PRINCIPALI DIFFICOLTÀ NELLA FASE DI PULIZIA (HAMMOND, ET AL., 1998).....	231
FIGURA 6-8: DIFFICOLTÀ NELLA FASE D'ISPEZIONE (HAMMOND, ET AL., 1998).....	233
FIGURA 6-9. PRINCIPALI DIFFICOLTÀ NELLA FASE DI RIPRISTINO (HAMMOND, ET AL., 1998).	237
FIGURA 6-10: CONFRONTO TRA CICLO DI VITA DEL PRODOTTO E TECNOLOGIA DI RIFERIMENTO.....	239
FIGURA 6-11: FLUSSO DEI CORE DESTINATI A RIFABBRICAZIONE.....	240
FIGURA 6-12: VALUE PROPOSITION E DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA	241
FIGURA 6-13: MODELLO LOGICO PER VALUTARE LA RIFABBRICABILITÀ DI UN PRODOTTO	244

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1-1 : RELAZIONE TRA LE ATTIVITÀ DI PIANIFICAZIONE E CONTROLLO DELLA PRODUZIONE E LE CARATTERISTICHE DI UN SISTEMA DI RIFABBRICAZIONE (GUIDE, 2000)	30
TABELLA 1-2: PRINCIPALI DIFFERENZE TRA UN SISTEMA DI LOGISTICA DIRETTO ED INVERSO (TIBBEN-LEMBKE, ET AL., 2002)	39
TABELLA 2-1: DISTRIBUZIONE DELLE IMPRESE IMPEGNATE NELLA RIFABBRICAZIONE PER SETTORE INDUSTRIALE(LUND, 1996)	45
TABELLA 3-1: DIMENSIONI CHIAVE PER LA PIANIFICAZIONE IN AMBIENTI RMTS (GUIDE, ET AL., 2003)	79
TABELLA 3-2: DIMENSIONI CHIAVE PER LA PIANIFICAZIONE IN AMBIENTI RATO (GUIDE, ET AL., 2003)	80
TABELLA 3-3 : DIMENSIONI CHIAVE DELLA PIANIFICAZIONE IN AMBIENTI RMTO (GUIDE, ET AL., 2003)	82
TABELLA 3-4: LINEE GUIDA PER I MODELLI DI PIANIFICAZIONE DELLA PRODUZIONE IN RIFABBRICAZIONE (GUIDE, ET AL., 2003)	84
TABELLA 3-5: UN ESEMPIO DI SISTEMA MRP PER LA RIFABBRICAZIONE (INDERFURTH, 2001).....	98
TABELLA 4-1: SCENARI PER IL CONFRONTO DELLE POLITICHE DI GESTIONE DELLE SCORTE.....	128
TABELLA 4-2: VALORI ADOPERATI PER I PARAMETRI FISSI DEL SISTEMA	129
TABELLA 4-3 – PARAMETRI DI COSTO NEL <i>BASIC SETTING</i>	129
TABELLA 4-4: PIANO DEGLI ESPERIMENTI (IN GRASSETTO IL <i>BASIC SETTING</i>)	129
TABELLA 4-5 – COEFFICIENTI DI COSTO AL VARIARE DEL COSTO DI MANTENIMENTO PERCENTUALE.....	130
TABELLA 4-6 – RISULTATI ESPERIMENTI (SCENARIO I – PARTE I).....	131
TABELLA 4-7 – RISULTATI ESPERIMENTI (SCENARIO I – PARTE II).....	131
TABELLA 4-8 – RISULTATI ESPERIMENTI (SCENARIO II).....	132
TABELLA 4-9 – RISULTATI ESPERIMENTI (SCENARIO III).....	132
TABELLA 5-1: ANDAMENTO DEL TASSO DI DOMANDA Λ_D E DEL TASSO DI RITORNO Λ_R NEL CICLO DI VITA DI UN PRODOTTO RIFABBRICABILE	154
TABELLA 5-2: FORMULE PER IL CALCOLO DEI COSTI DI MANTENIMENTO.....	158
TABELLA 5-3: SCENARI DI CONFRONTO.....	170
TABELLA 5-4: PARAMETRI DI SISTEMA.....	171
TABELLA 5-5: PARAMETRI FISSI DEL MODELLO	172
TABELLA 5-6: PARAMETRI DI COSTO	172
TABELLA 5-7: PIANO FATTORIALE DEGLI ESPERIMENTI	173
TABELLA 5-8 - DIFFERENZE PERCENTUALI DI PROFITTO RISPETTO AL CASO DI ASSENZA DI MERCATO SECONDARIO.....	175
TABELLA 5-9: VALORI DEL LIVELLO DI SERVIZIO PER DIVERSE DIMENSIONI DEL MERCATO SECONDARIO	183
TABELLA 5-10: VALORI DEL PREZZO DI ROTTURA	185
TABELLA 5-11: CONFRONTO REGOLE DI PRIORITÀ.....	202
TABELLA 5-12: REGOLE DI PRIORITÀ UTILIZZATE PER LA STRATEGIA DI CONTROLLO <i>PUSH 2</i>	202
TABELLA 6-1: DESIGN FOR X NELLE FASI DI UN PROCESSO DI RIFABBRICAZIONE (GRAY, ET AL., 2007).....	221
TABELLA 6-2: PROGETTAZIONE DEL PRODOTTO PER SEMPLIFICARE LE SINGOLE FASI DI UN PROCESSO DI RIFABBRICAZIONE (SHU, ET AL., 1999).....	222
TABELLA 6-3: FONTI DI CORE PER LA RIFABBRICAZIONE O CANNIBALIZZAZIONE DEI COMPONENTI (TIBBEN-LEMBKE, ET AL., 2002).....	225

PREMESSA

L'intervento sinergico dei diversi soggetti coinvolti nella salvaguardia ambientale, sta spingendo sempre più le aziende ad adeguare ed, in certi casi, a rivoluzionare, le proprie strategie, i propri programmi ed i propri obiettivi alle esigenze dell'ambiente.

La crescente sensibilità da parte dei consumatori all'impatto ambientale dei prodotti, sta segnando il passaggio ad un'ulteriore stagione di tale evoluzione in cui la variabile ambientale assume un valore altamente strategico.

Le recenti normative in materia ambientale, inoltre, impongono alle imprese l'assunzione della responsabilità sul prodotto anche nelle fasi finali del suo ciclo di vita. In questo contesto assumono rilievo quei modelli di gestione del business che prevedono la gestione del *fine vita* dei prodotti sin dalle prime fasi della progettazione. Questo approccio al problema del recupero rappresenta una vera e propria rivoluzione copernicana rispetto alle precedenti strategie di gestione di tipo *reattivo*. Le condizioni migliori, quindi, per queste iniziative, si presentano quando i loro *driver* non sono unicamente le questioni d'impatto ambientale legate a vincoli legislativi, o almeno non lo sono in prima istanza. Del resto anche l'evidenza empirica dimostra che i casi di maggior successo nel recupero dei prodotti riguardano imprese che hanno adottato strategie *proattive* ed anticipatorie rispetto alle normative.

Alla luce di questo complesso scenario, diventa altamente strategico per le aziende creare, attraverso un'attività di recupero dei prodotti pianificata fin dalla fase di progettazione, delle opportunità di business o dei vantaggi competitivi laddove i concorrenti vedono solo vincoli legislativi.

1

PRODUZIONE ED AMBIENTE

La responsabilità ambientale sta assumendo un ruolo fondamentale nelle scelte politiche ed economiche mondiali e di conseguenza si sta imponendo con sempre maggiore insistenza all'attenzione del management di un numero crescente di realtà produttive appartenenti ai più svariati settori industriali. Molte aziende hanno dovuto modificare il proprio business per adeguarlo alle sempre più stringenti leggi ambientali soprattutto per quanto riguarda i ritorni dei prodotti a fine vita.

Diversi esempi hanno dimostrato che il modo più conveniente per affrontare i problemi ambientali è quello di adottare strategie di tipo proattivo anziché di tipo reattivo. Si pone, dunque, il problema per le aziende di sviluppare ed istituzionalizzare per i propri prodotti delle tecniche di produzione e di gestione del prodotto a fine vita.

Obiettivo di questo capitolo è quello di esplorare le tecniche a disposizione delle aziende per una gestione eco-compatibile del ritorno dei prodotti dal mercato, ponendo particolare attenzione all'opzione di recupero della rifabbricazione.

1.1 Produzione Eco-Compatibile e Recupero dei Prodotti

Negli ultimi anni sotto la spinta di un quadro normativo sempre più vincolante e di un maggiore interesse dei consumatori verso l'ambiente, sono state gradualmente inserite nelle fasi di progettazione e produzione, tematiche di natura ambientale e di recupero del prodotto a fine vita.

La Produzione Eco-Compatibile (*Environmentally Conscious Manufacturing*) riguarda, appunto, lo sviluppo di metodi di produzione, dalla progettazione, alla consegna finale e infine allo smaltimento alla fine del ciclo di vita, che soddisfino gli standard e i requisiti ambientali.

Il recupero dei prodotti (*Product Recovery*), invece, si riferisce all'insieme di possibili alternative di gestione di un prodotto a fine vita che consente di minimizzare la quantità di rifiuti mandati a discarica grazie al *recupero* del prodotto stesso o di suoi componenti e/o materiali.

Le aziende sensibili a tematiche ambientali, quindi, integrano due strategie primarie: da un lato cercano di progettare prodotti ecologicamente compatibili (*green products*), attraverso una produzione consapevole dal punto di vista ambientale, dall'altro lavorano sulle tecniche per il recupero dei prodotti e la gestione dei rifiuti.

Per progettare un prodotto con il minimo impatto, è fondamentale considerarne l'intero ciclo di vita, dalla progettazione allo smaltimento finale. Nonostante quest'approccio possa sembrare la soluzione più valida ai problemi ambientali, il suo effetto immediato è soprattutto nelle prime fasi del ciclo di vita del prodotto, mentre i danni più gravi per l'ambiente si determinano verso la fine di tale ciclo, quando il prodotto termina la sua vita utile e si avvia allo smaltimento. Di conseguenza lo sviluppo anche di tecniche per la gestione del prodotto, orientate al recupero o almeno allo smaltimento in sicurezza, riveste almeno pari importanza. C'è da considerare, infatti, che milioni di prodotti sono già sul mercato, senza essere stati sviluppati tenendo in considerazione i loro impatti ambientali a fine vita.

La Figura 1-1 evidenzia il concetto di complementarità tra le diverse

strategie che permettono di affrontare il problema ambientale.

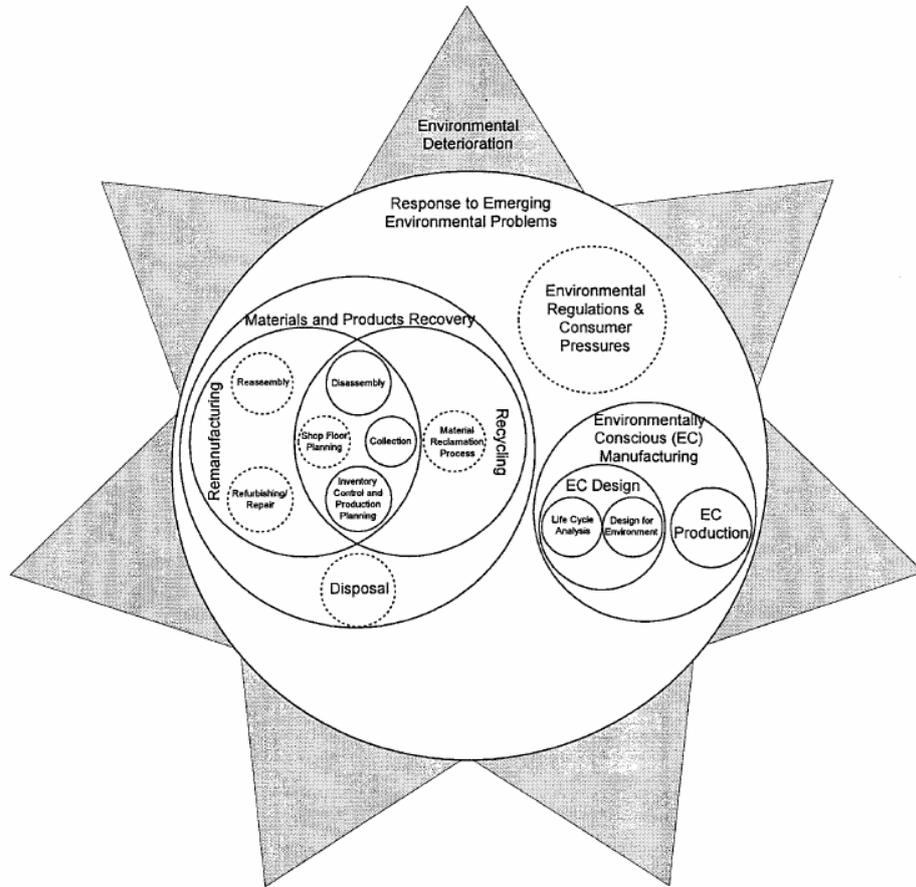


Figura 1-1: Interazione tra le diverse strategie ambientali (Gungor, et al., 1999)

1.2 La Produzione Eco-Compatibile

Il passaggio ad un modello di produzione che integri tra i suoi obiettivi quello di minimizzare l'impatto ambientale transita per due aspetti chiave:

- analisi del ciclo di vita del prodotto;
- formulazione ed attuazione di azioni migliorative durante la fase di sviluppo e produzione, per colmare il gap tra i requisiti ambientali del prodotto desiderati e verificati.

Il primo aspetto è fondamentale per determinare come evolverà il prodotto e come questo s'interfacerà con l'ambiente durante il suo ciclo di vita (Steinhilper, 1994). Ci si può servire di queste informazioni per lo sviluppo del prodotto, affrontando così il secondo aspetto considerato (Figura 1-2). Per

minimizzare l'impatto del prodotto in fase progettuale non si può prescindere da tecniche specifiche come l'analisi del ciclo di vita (LCA) e il design per l'ambiente (DfE).

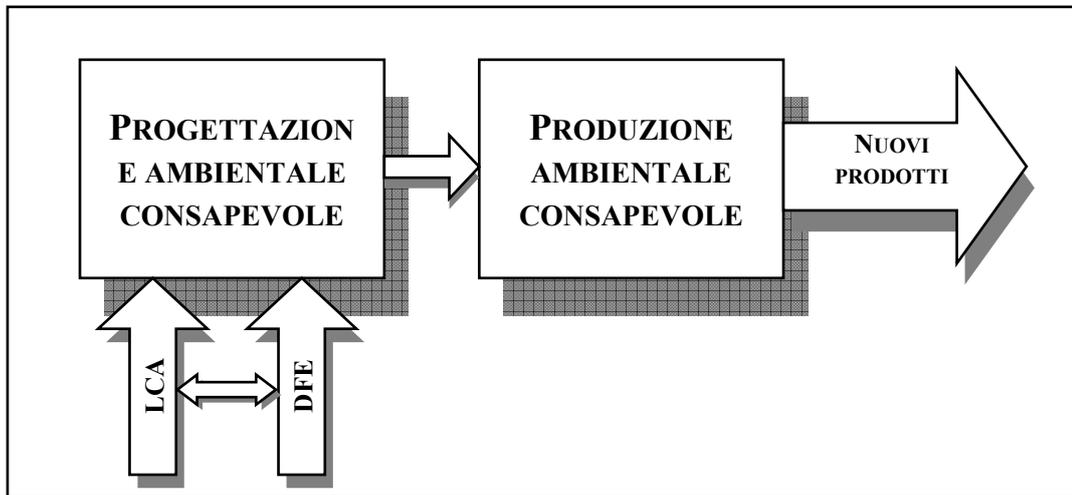


Figura 1-2: Modello di produzione consapevole dal punto di vista ambientale (Gungor, et al., 1999)

Per un'efficace ed efficiente gestione dei prodotti a fine vita, è fondamentale la corretta valutazione e gestione degli impatti dell'ultima fase del ciclo di vita attraverso una opportuna scelta dei materiali e delle tecnologie produttive.

1.2.1 La Progettazione Eco-Compatibile

La progettazione consapevole dal punto di vista ambientale (*Environmentally Conscious Design*) mira alla progettazione di prodotti con determinate caratteristiche ambientali. Gli elementi chiave dell'ECD sono l'analisi del ciclo di vita (LCA) e il design per l'ambiente (DfE).

La Figura 1-3 rende evidente quali sono le relazioni tra le diverse attività che riguardano il prodotto e le fasi del suo ciclo di vita. In particolare è possibile osservare l'importanza delle attività LCA e DfE, che si rapportano alla fase di progettazione del prodotto, ma hanno impatto e ricevono feed-back da tutte le fasi del suo ciclo di vita. Le attività raffigurate da un rettangolo con i vertici arrotondati, assolvono ad una funzione di supporto per la corrispondente fase del ciclo di vita del prodotto.

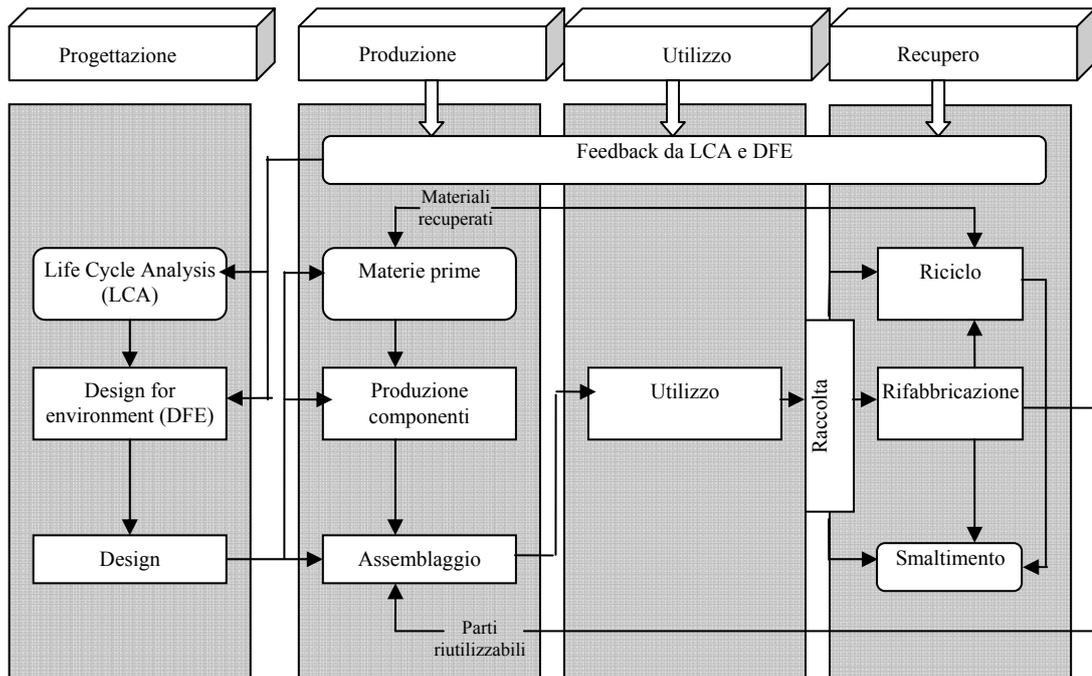


Figura 1-3: Interazione tra le attività nel corso del ciclo di vita di un prodotto. (Gungor, et al., 1999)

Life Cycle Analysis

L'analisi del ciclo di vita è "un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativi ad un prodotto, un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati, nonché dei rifiuti rilasciati nell'ambiente, con l'obiettivo di identificare e sviluppare le opportunità per un miglioramento della performance ambientale".(NAHB Research Center, 2001) La valutazione include l'intero processo, estrazione e trattamento delle materie prime, fabbricazione, trasporto, distribuzione, uso, riuso, riciclo e smaltimento finale.

In origine lo strumento LCA è stato sviluppato con lo scopo di determinare la durata massima della vita di un prodotto. L'idea di base parte dalla registrazione di tutti i flussi di materiale ed energia connessi con un prodotto, un processo o un servizio. L'intera vita di un assemblato o di un sistema viene considerata "dalla culla fino alla tomba". Questo significa che non vengono presi in considerazione solo gli effetti ambientali a livello dell'impianto di produzione, bensì l'intero processo entro il quale si colloca il prodotto.

Quest'approccio di tipo estensivo ha l'indubbio vantaggio di evitare valutazioni in un panorama troppo ristretto, da cui si potrebbe arrivare a delle conclusioni distorte a proposito di vantaggi o svantaggi. In questo modo, invece, è possibile spingere l'ottimizzazione fino a raggiungere il reale minimo scientifico dell'oggetto dell'indagine.

La struttura moderna della LCA è stata proposta dall'ISO a partire dal 1997 in un protocollo dettagliato ed è sintetizzabile in quattro momenti principali:¹

- *principles and framework;*
- *goal and scope definition and inventory analysis;*
- *life cycle impact assessment;*
- *interpretation.*

La definizione degli scopi e degli obiettivi rappresenta la fase preliminare, in cui vengono definite finalità dello studio, unità funzionale e i confini del sistema. Prima di procedere alla raccolta dei dati, è fondamentale specificare in maniera appropriata sia il sistema che s'intende analizzare, sia l'unità con cui normalizzare le informazioni che verranno raccolte e a cui dovranno essere riferiti i risultati. La seconda fase ha lo scopo di ricostruire la via attraverso cui il fluire dell'energia e dei materiali permette il funzionamento del sistema produttivo in esame. Redigere un inventario del ciclo vita, significa pertanto costruire un modello analogico del sistema reale che s'intende studiare. Durante la terza fase si studia l'impatto ambientale provocato dal processo, con lo scopo di evidenziare gli effetti sull'ambiente del consumo di risorse risultante dall'inventario. In ultimo si arriva all'interpretazione, la parte conclusiva di un'analisi ambientale, con lo scopo di proporre i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto del processo analizzato. La finalità della fase d'interpretazione è l'analisi dei risultati ottenuti, la spiegazione del significato che essi assumono e delle restrizioni che pongono, le possibili azioni d'intervento.

¹ Si veda ISO. 2006. "UNI EN ISO 14040". *Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento*; "UNI EN 14044". *Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida*. s.l. : ISO, 2006.

L'obiettivo è tracciare tutti i flussi di materiali ed energia che investono il prodotto e la complessità di quest'analisi aumenta con quella del prodotto per via dei crescenti fattori da considerare. Per poterla eseguire, è fondamentale definire preliminarmente i vincoli del sistema e gli obiettivi da raggiungere. L'LCA può essere considerata come un problema di ottimizzazione, in cui si cerca di massimizzare il valore aggiunto e minimizzare il consumo di risorse e la dispersione dei rifiuti. L'importanza di tale metodologia è testimoniata anche dai numerosi studi e ricerche effettuate per ampliare i campi di applicazione, per approfondire determinati aspetti e per fornire strumenti operativi per affrontare i problemi ambientali.

L'LCA solitamente facilita la raccolta sistematica, l'analisi e la presentazione dei dati ambientali collegati al prodotto ed ha applicazioni in numerose aree. Tra i *policy maker* viene utilizzata come base per lo sviluppo di leggi ambientali, tasse ed altri interventi regolatori. A livello industriale, invece, costituisce un supporto nella progettazione dei prodotti in un'ottica di minimizzazione degli impatti ambientali, poiché permette ai progettisti di stimare i costi e i benefici derivanti dalla scelta di un determinato attributo del prodotto. Inoltre, molte aziende utilizzano l'LCA per testimoniare pubblicamente la propria responsabilità sociale.

Design for Environment

Le informazioni ottenute durante l'applicazione dell'LCA vengono spesso utilizzate nella fase iniziale di progettazione di un nuovo prodotto. In realtà è possibile focalizzarsi su un singolo aspetto del ciclo di vita o considerarlo in maniera globale. Nel corso degli anni sono stati sviluppati diversi strumenti e metodologie per migliorare la progettazione da punto di vista ambientale. L'insieme di tali tecniche va sotto il nome di *Design For Environment* (DfE), anche detto *Ecodesign*, “*an approach to design where all the environmental impacts of a product are considered over the product's life*” (Dewberry, et al., 1996).

Il concetto di *Design for Environment* si afferma negli anni '70, di pari

passo con lo svilupparsi di una coscienza ambientale collettiva. In un primo tempo l'obiettivo era sostanzialmente quello di ridurre le emissioni industriali nell'atmosfera. Poi, col passare degli anni il campo di ricerca si è allargato più volte fino ad includere ogni azione preventiva volta a rimuovere l'impatto ambientale. Alcuni esempi di strategie preventive sono:

- ridurre i materiali impiegati nei prodotti;
- usare materiali non inquinanti;
- usare materiali che possono essere riciclati o riutilizzati;
- usare materiali riciclati;
- usare strutture modulari per semplificare la sostituzione dei componenti;
- usare componenti semplici da riparare, riutilizzare e riciclare.

Attraverso il DfE si considerano sistematicamente le performance del prodotto da un'ottica di progettazione per il rispetto di obiettivi riguardanti l'ambiente, la salute e la sicurezza lungo il suo intero ciclo di vita. I progettisti, quindi, devono considerare tutte le attività previste su di un prodotto in ciascuna fase del suo ciclo di vita. Lungo tutte queste fasi è possibile immaginare le diverse strategie di progettazione possibili come parti della strategia generale DfE. Ad esempio per minimizzare gli impatti del prodotto sull'ambiente durante la fase di produzione, gli obiettivi della progettazione potrebbero essere quelli di ridurre il consumo di energia (utilizzando eventualmente fonti rinnovabili) e/o di abbattere, durante la produzione, l'emissione di inquinanti pericolosi. Con riferimento alla fase finale della vita del prodotto, invece, esistono specifiche di progettazione volte ad migliorare il tasso di recupero del prodotto. Tra queste rientrano le strategie per favorire il recupero dei prodotti e dei materiali, le strategie per favorire il disassemblaggio, le strategie per ridurre la quantità di materiali inviati a discarica e le strategie volte a soddisfare specifiche norme o leggi.

Si osservi che progettare in un'ottica di DfE significa anche guardare al mercato per verificare se questo è interessato a prodotti eco-compatibili. La

scelta, quindi, di una particolare strategia di progettazione è condizionata alla presenza di consumatori interessato ad una certa proposta di valore.

Brezet e Van Hemel (1997) hanno presentato un modello che illustra otto differenti strategie adottabili per seguire un percorso di DfE, il cui impatto dipende dalla tipologia di prodotto oggetto d'analisi. Tali strategie riguardano:

0. sviluppo di nuovi *concept* di prodotto;
1. selezione di materiali a basso impatto;
2. riduzione dei quantitativi di materiale utilizzato;
3. ottimizzazione delle tecniche di produzione;
4. ottimizzazione del sistema distributivo;
5. riduzione dell'impatto durante l'uso;
6. ottimizzazione della fase iniziale del ciclo di vita;
7. ottimizzazione della fase finale.

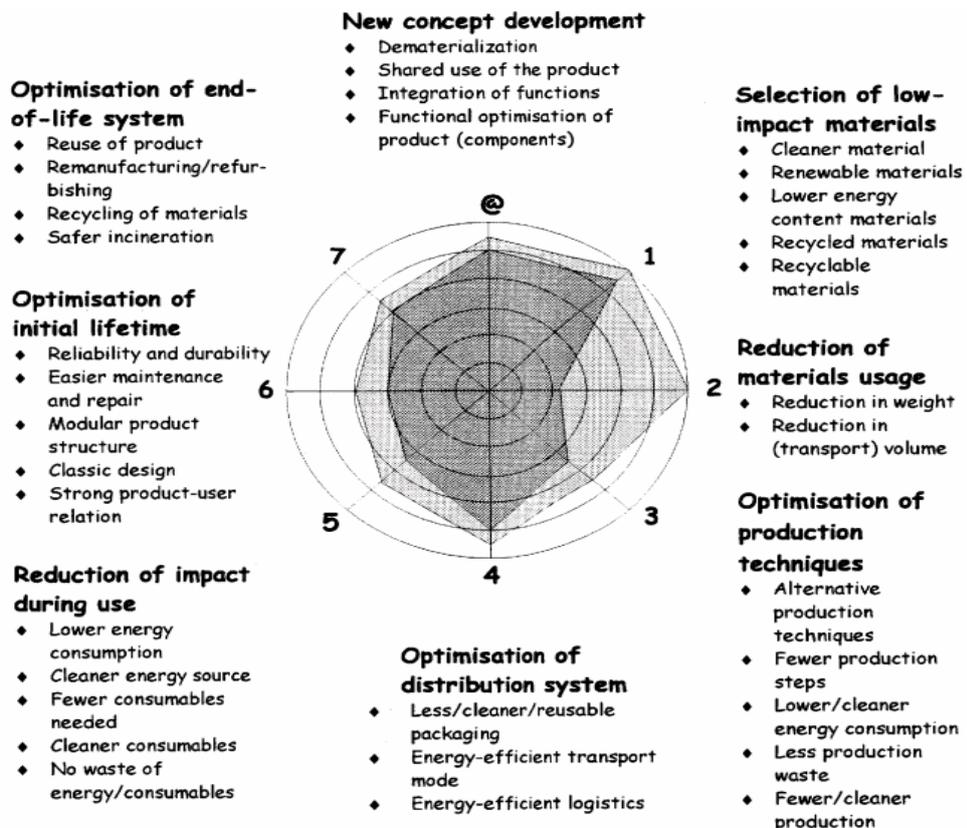


Figura 1-4: Strategie di Design for Environment (Brezet, et al., 1997)

In base a questo *tool* è possibile veicolare la progettazione su obiettivi differenti. Ad esempio, per minimizzare gli effetti del prodotto sull'ambiente

durante la fase di produzione, gli obiettivi di design possono essere finalizzati alla riduzione del consumo di energia (utilizzando eventualmente fonti rinnovabili) e alla riduzione della produzione di prodotti di scarto pericolosi. Con riferimento alla fase finale della vita, un obiettivo potrebbe essere aumentare la percentuale di materiale recuperabile. Esistono, quindi, strategie per favorire il recupero dei prodotti e dei materiali, la riduzione dei consumi, la diminuzione della quantità di rifiuti ecc..

Le opzioni raffigurate in Figura 1-4 si sviluppano nell'ambito delle fasi del processo di sviluppo di un prodotto. L'opzione zero, sullo sviluppo di un nuovo concetto di prodotto per andare incontro ai bisogni del cliente, riguarda la fase del *concept*. Rientrano in questo campo aspetti come la dematerializzazione, la condivisione, l'integrazione di più funzioni all'interno del prodotto. In molti casi si rivela la strategia dalle maggiori potenzialità. Le opzioni uno e due interessano la progettazione dei componenti. Dalla tre alla cinque si guarda alla struttura che sta dietro al prodotto per ottimizzare il processo produttivo, il sistema distributivo e l'impatto durante l'uso. La sei e la sette interessano il *system design* per l'ottimizzazione dell'inizio e del fine vita.

La rifabbricazione rientra nell'ultima strategia sull'ottimizzazione della fine del ciclo di vita. Sviluppare la progettazione del prodotto in questo senso, significa concentrarsi in primis sul *system design*, quando si traduce un concetto in componenti e parti reali. Secondo convenienza un prodotto può essere concepito per essere rifabbricato, riutilizzato *as is*, riciclato oppure incenerito in sicurezza. In realtà sarebbe però sbagliato approcciare da un punto di vista monadico. Il modello offre più che altro una schematizzazione delle alternative a disposizione del progettista.

In base a dei vincoli verrà effettuata una scelta più o meno di ampio respiro, risultato dalla combinazione di alcune delle strategie illustrate. Se si guarda al caso della rifabbricazione, infatti, si può essere abbastanza dubbiosi sull'efficacia di una strategia concentrata esclusivamente sul fine vita. Ci si attende un successo maggiore da un prodotto concepito in questo senso, se il ciclo di vita è stato ottimizzato secondo criteri di durevolezza e modularità. A ciò

va aggiunto che ha senso recuperare un prodotto, se questo ha un basso impatto ambientale durante il ciclo di consumo e di trasformazione. Il riutilizzo di tecnologie inefficienti, infatti, rischia di rivelarsi perdente nell'analisi costi-benefici. Il risultato di ciò è che una progettazione *environment friendly* si sintetizza combinando tra loro tutte le opzioni illustrate nella Figura 1-4.

Sull'aspetto strategico della progettazione ambientale e sulla sua relazione con le fasi di sviluppo di un nuovo prodotto si ritornerà nel capitolo 6.

1.3 Il Recupero del prodotto

Il recupero del prodotto, alternativa allo smaltimento tradizionale, costituisce una risposta ai danni ambientali provocati dalla dismissione dei prodotti a fine vita. Il recupero, infatti, va nella direzione di minimizzare la domanda di energia e materie di prima estrazione e l'impatto ambientale del rifiuto, e da anche l'opportunità di avviare un business profittevole. Si combinano, quindi, da un lato le problematiche ambientali e di eco-sostenibilità, dall'altro l'economicità del processo.

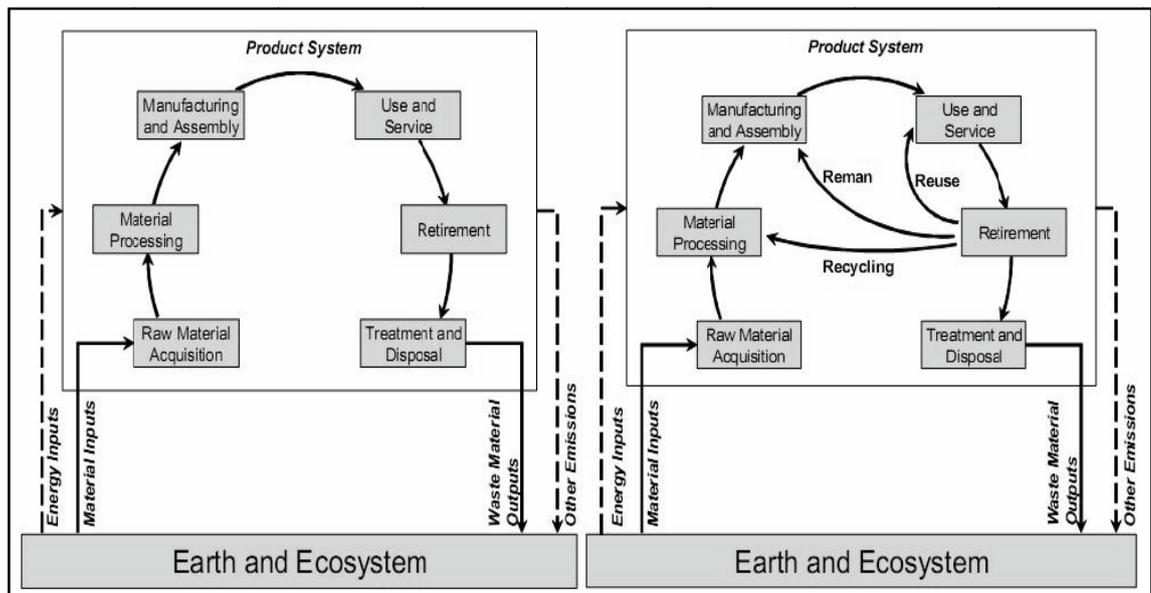


Figura 1-5: Sistema di produzione a ciclo aperto e a ciclo chiuso. (Nasr, et al., 2006)

Recuperare il prodotto significa rivedere la logica di gestione del

prodotto/rifiuto, passando da un sistema produttivo lineare di tipo «aperto» ad uno circolare e con lunghezza variabile di tipo «chiuso» (Nasr, et al., 2006). La logica di tipo aperto prevede un ciclo che inizia prelevando risorse dall'ecosistema, quando materie prime ed energia vengono veicolate nel processo tecnico di trasformazione, e si conclude con l'entrata in discarica o l'incenerimento del prodotto. Questa impostazione produttiva è sostenibile solo se il consumo di risorse è inferiore alla capacità dell'ambiente di rigenerarle, come nelle piccole economie di sussistenza.

In un ciclo di produzione di tipo chiuso, invece, intervengono attività di recupero che vanno a posporre nel tempo lo smaltimento finale avviando il prodotto, i suoi componenti o semplicemente la materia prima di cui si compone a nuovi cicli. L'aggettivo «chiuso» non deve, però, far pensare ad un sistema che riesce ad essere completamente autosufficiente, poiché l'iniezione di una parte di risorse risulta, comunque, necessaria ad ogni nuovo ritorno ed è commisurata all'opzione di recupero praticata. È indubbio, però, che questo nuovo approccio alla gestione del prodotto, migliora l'efficienza del processo di sfruttamento delle risorse naturali ed apra contemporaneamente nuove opportunità di business. Il «fine vita» del prodotto da fase conclusiva si trasforma in un momento di verifica, in cui si valuta con quale modalità di recupero intervenire per prolungarne la vita utile (Figura 1-5).

I prodotti che si avviano a divenire rifiuto possono essere riutilizzati attraverso un ciclo chiuso di recupero, oppure smaltiti attraverso i canali tradizionali (incenerimento, conferimento in discarica) in un'ottica di spreco e dissipazione attraverso il circuito aperto. Una politica orientata alla sostenibilità di tipo «*closed loop*» deve essere conforme ad alcuni principi di fondo:

- riduzione dei rifiuti attraverso l'aumento della vita utile del prodotto;
- riutilizzo del rifiuto (in verità ancora non andrebbe considerato tale) mediante pratiche di ricostituzione per riavviarlo ai canali distributivi;
- riciclo del rifiuto per il recupero delle materie prime ancora utili;

- ricorso alla discarica per lo smaltimento come ultima alternativa utile.

I prodotti che si trovano nell'ultimo stadio del loro ciclo di vita, possono essere recuperati in molti modi e con diversi livelli d'efficienza. In riferimento alla letteratura si trovano (Figura 1-6):

- riuso;
- riparazione;
- ricondizionamento;
- rifabbricazione;
- cannibalizzazione;
- riciclo.

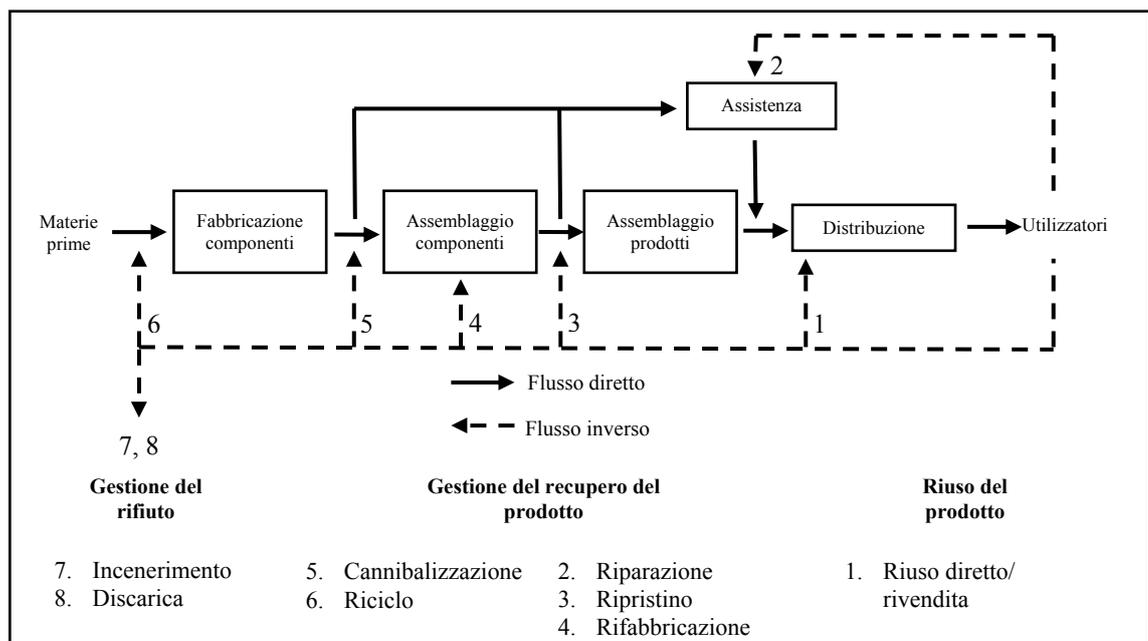


Figura 1-6: Recupero di un prodotto in una *closed loop supply chain* (Thierry, et al., 1995)

Al livello più basso si trova il riciclo dei materiali, procedimento che permette di recuperare solo la materia prima ma non il valore aggiunto del ciclo produttivo. Opzioni di più alto livello, dove vengono recuperati secondo i casi prodotti, componenti o moduli, sono il ricondizionamento, la rifabbricazione o la cannibalizzazione. Opzioni intermedie con un ambito di applicazione di portata limitata sono la riparazione o il riuso. Un sistema *closed loop* comprende

distribuzione, recupero del prodotto e gestione finale del rifiuto. I prodotti e/o i componenti che ritornano attraverso il sistema di logistica inversa possono essere direttamente rivenduti, recuperati o smaltiti.

1.3.1 Riuso

“Il riuso corrisponde all’utilizzo addizionale di un componente, di una parte o di un prodotto, dopo che questo è stato dismesso nell’uso originale” (Guyer, 1999).

Questo termine si applica per designare un prodotto che è stato utilizzato in precedenza e che al termine del suo primo ciclo non subisce alcun intervento, ma viene rivenduto nelle condizioni in cui si trova (*as is*). Il prodotto manterrà gli eventuali problemi che si sono manifestati durante il ciclo di vita precedente. Non tutti i beni, quindi, possono essere destinati al riuso. Tale opzione è percorribile solo per quelli che presentano un adeguato livello qualitativo al momento della raccolta, di modo da poter trovare un’acquirente interessata.

Una pratica diffusa è quella di suddividere i ritorni in classi in base al livello qualitativo che presentano. I prodotti che rientrano nella classe più elevata possono essere immediatamente rivenduti, mentre gli altri possono essere avviati ad altri percorsi che possono prevedere la riparazione, il ricondizionamento, la rifabbricazione, il riciclo ecc. secondo il caso. Il prodotto riusato può essere venduto sullo stesso mercato di quello nuovo (si pensi al mercato delle automobili usate) e, se è trascorso poco tempo dalla sua prima collocazione tra i consumatori, può anche avere il livello qualitativo di uno nuovo o rifabbricato.

1.3.2 Riparazione

L’approccio più immediato per chiudere il ciclo d’uso di un prodotto guasto è ripararlo per estenderne la vita utile. La riparazione consiste nella semplice correzione di specifici difetti emersi durante l’uso. *“The purpose of repair is to return used products to «working order»”* (Thierry, et al., 1995). Di solito la «qualità» di un prodotto riparato è inferiore rispetto a quella di uno nuovo, ma è anche inferiore rispetto ad uno rifabbricato o ricondizionato. La stessa garanzia data a seguito dell’operazione, se prevista, non è quella applicata ai manufatti

appena usciti dalla fabbrica e normalmente non copre il prodotto nel suo complesso, ma solo i componenti sostituiti.

La riparazione costituisce un'opzione di recupero cui si ricorre in occasioni limitate per questioni legate ai costi dell'intervento e all'incertezza sulla vita residua del bene. Chi commissiona l'intervento, infatti, non ha la garanzia sull'effettivo prolungamento del ciclo di vita del prodotto, perché, c'è sempre il rischio che si presentino nuovi difetti. Alcune ricerche empiriche condotte nel Regno Unito hanno mostrato che nel periodo che va dal 2001 al 2006 la diffusione di dispositivi elettronici è aumentata del 60% (Cooper, et al., 2000). La riparazione di questi prodotti, però, è poco praticata dai consumatori, i quali adducono come ragione il costo elevato del lavoro rispetto al prezzo di un nuovo articolo.

I prodotti non vengono più utilizzati per ragioni obsolescenza funzionale (il prodotto non è più in grado di assolvere la funzione per cui è stato realizzato) o per obsolescenza stilistica (il prodotto è ancora valido, ma perde *appeal* perché sul mercato ne sono usciti di nuovi migliorati nelle funzioni e nello stile). La riparazione è di norma praticata solo a seguito di obsolescenza funzionale. Nel secondo caso, quello riguardante l'obsolescenza stilistica, non riguarda i mercati evoluti, ma può avere come finalità un nuovo collocamento su un mercato secondario.

1.3.3 Ricondizionamento

L'attività di ricondizionamento richiede più risorse rispetto alla riparazione, ma meno che nella rifabbricazione. Questa pratica prevede la ricostruzione delle componenti più importanti, sia quelle difettose che quelle potenzialmente più interessate da guasti, anche se magari il cliente non ha segnalato anomalie. Il risultato non è un ritorno alle sue condizioni originali, ma una serie d'interventi che permettono di estenderne l'uso funzionale.

Il bene ricondizionato è chiaramente non nuovo, non offre quelle che sono le ultime funzionalità lanciate sul mercato, mentre stilisticamente potrebbe non essere al passo con i tempi. Il mercato di riferimento è tendenzialmente lo stesso

di un apparecchio riparato. Spesso tali prodotti vengono venduti a famiglie a basso reddito oppure a fornitori di servizi sociali. Dal prodotto *messo a nuovo* ci si aspetta una performance inferiore rispetto ad un modello originale; di conseguenza sarà minore anche la copertura offerta dalla garanzia. Un esempio di questo tipo di prodotti sono gli aeroplani ad uso sia civile che militare.

1.3.4 Cannibalizzazione

La cannibalizzazione delle parti corrisponde ad un processo attraverso il quale un limitato numero di componenti viene estratto da un prodotto per essere riutilizzato in nuovi cicli. “*When parts or components are taken off of one item and used to repair or rebuild another unit of the same product*” (Rogers, et al., 1999). Tale pratica non è da confondere con il fenomeno della cannibalizzazione della domanda del mercato primario a vantaggio del secondario. Le componenti o i moduli cannibalizzati serviranno in altri processi di riparazione, ricondizionamento, rifabbricazione, ma all’occorrenza anche in nuovi prodotti. Si tratta perciò di un’opzione non compiuta che, come nel caso del riciclo, è funzionale ad altri processi.

Il livello qualitativo del componente dipende dal processo all’interno del quale sarà impiegato. Parti destinate alla rifabbricazione avranno, quindi, uno standard di prestazione più alto rispetto a quelle destinate ai processi di ricondizionamento e riparazione. Il prodotto viene smontato ed ispezionato attentamente per verificare quali parti si prestano al reimpiego. Il valore aggiunto dei componenti scartati a questo punto non può essere più salvato. L’unica alternativa allo smaltimento rimane il riciclo.

1.3.5 Riciclo

Il riciclo corrisponde “ad una serie d’attività attraverso le quali materiali di scarto vengono raccolti, selezionati, trattati ed usati nella produzione di nuovi prodotti”. Tale pratica restituisce la materia prima del prodotto, che può essere usata come input per un processo di fabbricazione futuro. Non preservando la configurazione del prodotto, né tantomeno i componenti, può essere considerata una pratica

residuale in un ciclo industriale di recupero chiuso. Generalmente viene utilizzata nel recupero dei rifiuti solidi urbani, in particolare per beni di consumo come bottiglie di vetro, giornali, lattine in alluminio o materie plastiche, ma può anche applicarsi ai beni durevoli come automobili o motori.

La raccolta, l'estrazione e la trasformazione delle materie prime sono attività che richiedono un notevole dispendio in termini energetici. Pertanto la riduzione o l'eliminazione delle suddette fasi consentirebbe un enorme risparmio energetico.² Molto dipende dal tipo di materiale, ma in linea di principio si può senz'altro affermare che il riciclaggio consente un notevole risparmio energetico, se confrontato con i normali processi che partono da materiali vergini.³

A livello ambientale conviene chiaramente riciclare i materiali, piuttosto che conferirli in discarica. Sebbene per alcuni prodotti si sia riusciti ad arrivare a tassi superiori all'80%, molti progettisti sono riluttanti nel far uso di questi materiali a causa dell'incertezza negli standard qualitativi e nei tempi di fornitura (Chick, et al., 2002). Pur se il bilancio delle risorse rimane positivo, una peculiarità di questa pratica è che, mentre riduce il ricorso a materie vergini, distrugge il valore aggiunto del primo processo di fabbricazione e richiede ulteriori risorse per ottenere di nuovo le materie prime stesse. *“Wastes can't turn back into resources unless there is some external source of energy”*. *«Recycling» doesn't just happen on its own [...] it has to be powered by an energy source*” (Jacobs, 1991).

1.3.6 Rifabbricazione

La definizione originale del concetto di rifabbricazione può essere attribuita a Robert Lund, professore della Boston University, luminare nello studio di questo settore d'attività. Tale merito, insieme a quello di aver un po' aperto la strada ad uno studio sistematico di questa opzione nel recupero dei prodotti, viene riconosciuto allo studioso in gran parte della letteratura.

² Ad esempio, il riciclaggio dell'alluminio consente un risparmio energetico del 95%, rispetto alla quantità di energia impiegata con la tradizionale produzione a partire dalla relativa materia prima, la bauxite.

³ Secondo la NERC (*North American Electric Reliability Corporation*) l'attività di riciclo portata avanti nella città di New York nel 1997 ha permesso un risparmio d'energia pari al 9%, minori emissioni di ossido di zolfo del 12% ed evitato l'estrazione di 2,7mln di tonnellate di ferro.

Qui di seguito vengono riportate alcune definizioni del concetto:

- *“il processo di ripristino di prodotti usati a condizioni pari al nuovo”* (Agudo Dominguez, 2005);
- *“ci si riferisce ad un processo che ha l’obiettivo di ripristinare dei prodotti usati ad uno stato pari al nuovo, fornendo agli stessi le caratteristiche e la durevolezza prestazionale almeno buone quanto il prodotto originale”* (Lund, 1984);
- *“remanufacturing is an industrial process whereby products referred as cores are restored to useful life. During this process the core pass through a number of remanufacturing steps, e.g. inspection, disassembly, part replacement/refurbishment, cleaning, reassembly, and testing to ensure it meets the desired product standards”* (Sundin, 2004);
- *“si tratta dell’unico processo, tra le diverse opzioni di recupero a fine vita che riporta i prodotti usati almeno alle specifiche di performance dell’Original Equipment Manufacturer (OEM) e, allo stesso tempo, assicura una garanzia equivalente a quella prevista per i nuovi”* (Ijomah, 2002).

Dalle definizioni precedenti emerge chiaramente il richiamo al concetto di processo, un insieme d’attività concatenate, piuttosto che ad un unico step finalizzato al ripristino della performance di un prodotto. Non altrettanto si può dire, ad esempio, per la riparazione o il riuso, che vengono apostrofate semplicemente come attività. Esiste, quindi, una chiara visione condivisa sulla complessità intrinseca dell’operazione, composta da attività ed interventi, da porre in essere in modo coordinato per un obiettivo prefissato.

Di tutte le pratiche che investono i prodotti usati destinati ad essere riutilizzati, questa richiede il più alto impiego di risorse ed offre una qualità ed una durevolezza superiore. Il lavoro è giustificato dal fatto che il prodotto va completamente smontato in tutte le sue componenti, che saranno sottoposte a ripristino o a rimpiazzo secondo il caso. La tecnica si applica principalmente per

prodotti elettronici e meccanici, i quali sono caratterizzati da componenti *core* che, quando recuperati, mantengono un valore aggiunto relativamente alto rispetto alla valutazione di mercato o al loro costo originario (Lund, 1985) Il termine «*core*» è comunemente usato per descrivere il componente o il prodotto di riferimento durante il processo.⁴

In molti casi la rifabbricazione è stata giudicata come l'opzione «finale» più desiderabile da praticare su un prodotto, perché ne preserva il valore aggiunto accumulato nei diversi stadi del sistema del valore che tra le varie voci comprende il valore materiale del prodotto, quello dei ricambi individuali e della configurazione d'assemblaggio. Gaudette e Giuntini (2003) considerano tale pratica come la più evoluta forma di riciclo: “*Remanufacturing, by contrast, is the ultimate form of recycling. It conserves not only the raw material content but also much of the value added during the processes required to manufacture new products*” (Giuntini, et al., 2003). Infatti, l'energia consumata per avviare il prodotto ad un nuovo ciclo, in base ad uno studio di Lund, è in media pari a circa il 20-25% di quella necessaria per la fabbricazione ex novo, mentre il costo finale è pari a circa il 60% di quello originario (Lund, 1998; Mitra, et al., 2007).

Esistono molti studi che hanno fatto ordine tra le differenti strategie di recupero a fine vita. Nonostante ciò, non è raro che al di fuori del campo accademico, ma a volte anche all'interno di esso, si finisca col fare confusione sui termini utilizzati. Sicuramente i soggetti meno preparati a fare distinzioni sono i consumatori per via della scarsa informazione e del poco interesse che tendenzialmente hanno verso prodotti diversi dai nuovi. Non è raro, però, riscontrare confusione anche tra gli addetti ai lavori nella stessa industria.

Per designare lo stesso concetto in realtà diverse, si usano termini differenti: nel Regno Unito, Olanda e Norvegia i pneumatici rifabbricati vengono detti «ricostruiti» (*retreating tires*), mentre per i motori si usa l'espressione «di rimpiazzo» (*exchange engine*); in Italia, Spagna e Portogallo si parla di motori «rettificati». (Agudo Dominguez, 2005) Questa situazione contribuisce a mantenere bassa la visibilità dell'industria della rifabbricazione sul mercato,

⁴ Alla Xerox, leader nella pratica della rifabbricazione, si usa per designare il medesimo concetto il termine «*Hulk*».

visto che tra i poco informati rifabbricazione finisce con l'essere un sinonimo di riparazione o riuso, finendo col lasciare celato l'alto valore aggiunto di questo tipo di offerta rispetto alle altre.

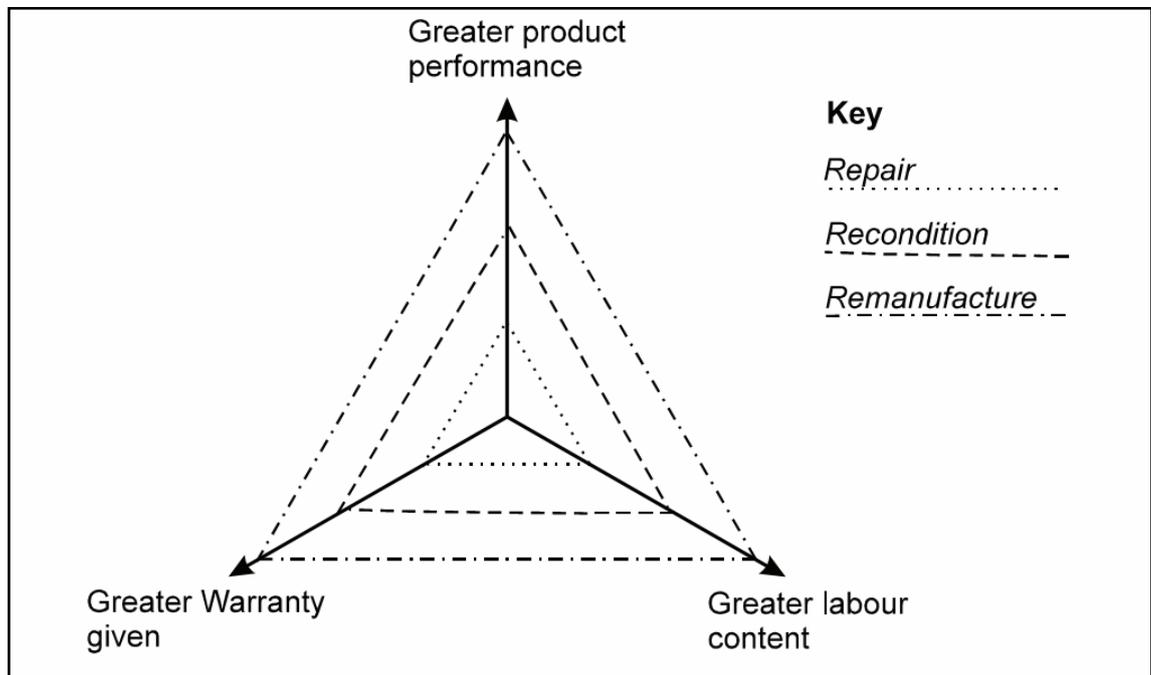


Figura 1-7: Gerarchia tra processi di recupero di un prodotto destinato ad un mercato secondario.(Ijomah, 2002)

Nella Figura 1-7 si evidenziano le differenze fondamentali tra le strategie di rifabbricazione, ricondizionamento e riparazione, sulla base di tre dimensioni: il livello di garanzia offerto; la performance promessa; il contenuto di lavoro necessario nel trattamento.

Il ricondizionamento è molto simile alla rifabbricazione. La differenza sta nel livello di qualità finale, che non necessariamente nel primo caso è la stessa di un prodotto nuovo. La differenza col riuso sta, invece, nel fatto che il prodotto non viene sottoposto a nessuna revisione, ma viene direttamente rivenduto al consumatore finale senza interventi sul valore aggiunto. La sua vita utile, pertanto, rimane ignota. Interventi di revisione sono previsti, invece, in un processo di riparazione, ma limitati alla correzione dei guasti affinché il prodotto possa ritornare a funzionare. A dimostrazione di ciò la garanzia su un prodotto riparato riguarda solo il componente oggetto dell'intervento e nulla assicura un ritorno alle prestazioni originarie.

Si osservi che di norma un processo di rifabbricazione è spesso affiancato da attività di riciclaggio e/o ricondizionamento, che si caratterizzano per la condivisione dell'iter di raccolta dai clienti finali e dei passaggi iniziali di lavorazione, nonché delle difficoltà e delle problematiche che affliggono queste attività. Il riciclaggio, in specie, poiché in grado di ridurre la pressione ecologica esercitata sul pianeta da parte del sistema economico, in un modello profittevole ed ecosostenibile deve rappresentare l'ultimo stadio all'interno di un processo di questo genere.

Inizialmente ci si preoccupa di recuperare, per quanto possibile, anche le funzionalità del singolo componente, che nella maggior parte dei casi rappresenta anche l'elemento di maggior valore (vedi cannibalizzazione delle parti) e, solo in ultima istanza, le materie prime con cui è costituito lo stesso. Il raggiungimento di questo step è, comunque, inevitabile in quanto, pur con tempi diversi, tutti i componenti riutilizzati/utilizzati vedono deteriorarsi le loro performance sino al punto in cui non possono essere più reimpiegati.

1.4 Analisi di un processo di rifabbricazione

L'intera procedura di rifabbricazione può essere scomposta da un punto sequenziale in tre sottosistemi: disassemblaggio, revisione, riassettaggio. *“The coordination of these sub-systems is key for a successful production planning and control system”* (Guide, et al., 1999)

Per Steinhilper (1998) e Sundin (2004) le attività che compongono un processo di rifabbricazione possono essere suddivise in (Figura 1-8):

- disassemblaggio;
- ispezione;
- smistamento;
- pulizia;
- ripristino;
- riassettaggio;

- controllo e test.

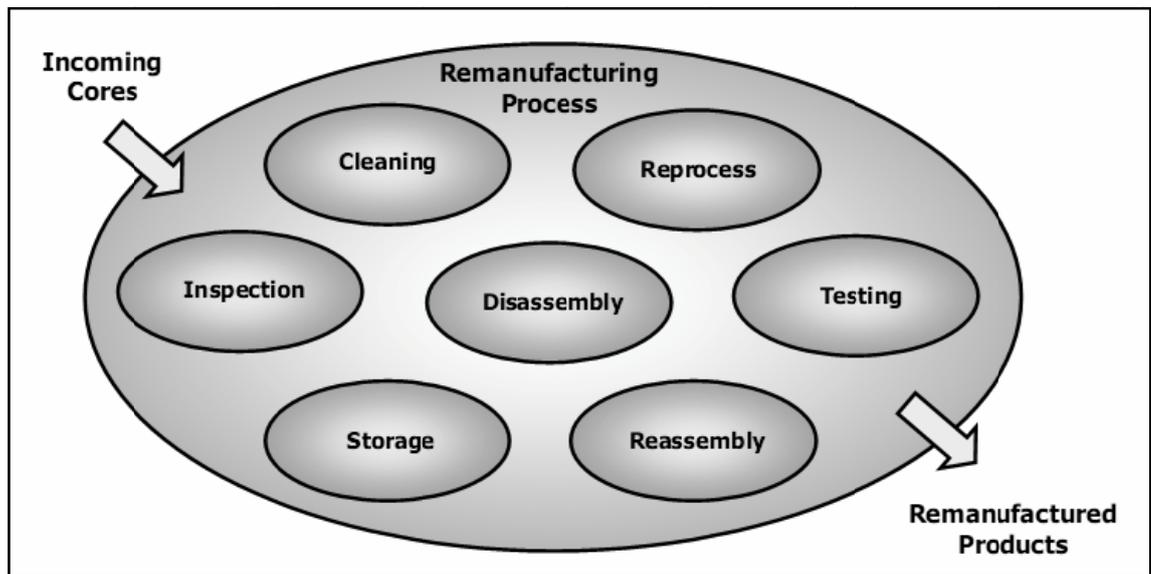


Figura 1-8: Un generico processo di rifabbricazione.(Sundin, 2004)

Da un altro punto di vista si può parlare di (Bras, et al., 1996):

- interfacciamento delle componenti (assemblaggio e disassemblaggio);
- pulizia;
- correzione danneggiamenti (revisione, sostituzione);
- verifica della qualità (collaudo e ispezione).

L'evidenza empirica mostra che le aziende organizzano il processo e la sequenza dei diversi step in modi differenti. Sebbene sembrano esserci dei punti fissi, come per esempio la sequenza disassemblaggio-ripristino-assemblaggio, attività come ispezione, pulizia o collaudo non hanno collocazione univoca. Per esempio, i *core* potrebbero essere prima smontati con seguire l'ispezione, oppure si potrebbe procedere all'ispezione prima di disassemblare.

In alcuni casi l'ispezione segue il processo di pulizia, perché lo sporco potrebbe complicare la verifica o renderla impossibile. In realtà ciò non è efficiente, poiché potrebbero esserci dei danni tali da rendere impossibile praticare la rifabbricazione, vanificando il lavoro fatto in precedenza. Studi recenti auspicano, poi che l'ispezione venga avviata prima del disassemblaggio,

poiché potrebbe scartare in partenza le parti senza valore, migliorando efficienza ed efficacia del processo (Kerr, et al., 2001). La sequenza va, quindi, scelta considerando l'efficienza complessiva del processo, le caratteristiche del prodotto, la tecnologia a disposizione per il trattamento.

Sulla base della relazione univoca «disassemblaggio-ripristino-assemblaggio» si può suddividere il processo in cinque fasi temporali:

- pre-disassemblaggio;
- disassemblaggio;
- ripristino;
- riassemblaggio;
- post-assemblaggio.

Il pre-disassemblaggio corrisponde ad una fase preparatoria del processo. Quando un *core* ritorna, bisogna valutarne lo stato e il valore di mercato per decidere se preferire la rifabbricazione, la cannibalizzazione dei componenti o il riciclo dei materiali. La scelta viene fatta sulla base delle informazioni raccolte avendo riguardo ad obiettivi di profitto. Le informazioni sono utili per stimare i costi che saranno sostenuti durante il processo.⁵ Una volta scelto il futuro del *core*, lo si potrà smontare in singoli componenti per valutarne il livello qualitativo, così da capire se e in che modo avviarli al processo.⁶

I componenti giudicati validi, vengono sottoposti a diversi processi per migliorarne qualità e durevolezza. In alcuni casi tali processi possono anche alterare il componente rendendolo incompatibile con gli standard fissati. Per esempio, un cilindro danneggiato potrebbe essere recuperato allargandone il diametro, ma in seguito a ciò si dovrà usare un pistone di dimensioni diverse. Varia di conseguenza quella che in gergo si definisce BOM (*bill of materials*), la configurazione della lista dei componenti, ed aumentano gli aggravi gestionali. L'UBD, azienda di componentistica, non avvia processi di questo genere, poiché

⁵ Alcune variabili da considerare sono: costo di acquisizione; costi potenziali per disassemblaggio, ripristino e riassemblaggio rispetto a nuovi componenti; quantità minima dei ritorni secondo i bisogni futuri; qualità richiesta dal cliente; costi di MKTG e logistica; livello di domanda minima accettabile.

⁶ In questo caso aspetti da considerare sono: costo di nuovi componenti; costi potenziali di revisione; valore dei componenti ai fini del riassemblaggio; *lead-time*; livello di qualità richiesto dal cliente; eventuali disponibilità di versioni aggiornate (Ostlin, 2008).

giudicati poco redditizi e molto complessi, mentre Volvo di solito li pratica solo sui motori, poiché il loro valore è molto elevato rispetto agli altri componenti. La soglia di revisione di un componente varia secondo i casi. La convenienza, comunque, è direttamente correlata col valore di mercato e con il livello di qualità desiderato dal cliente finale.

A questo punto del processo segue la fase di riassettaggio. Qui i componenti da utilizzare dovrebbero essere in primo luogo quelli usati, che teoricamente dovrebbero avere il costo più basso. Una volta che un componente viene scartato, bisogna rimpiazzarlo, ricorrendo a quelli ripristinati, cannibalizzati da altri *core* oppure nuovi, se non sono disponibili i precedenti. A volte c'è bisogno di ricorrere necessariamente a parti nuove (es. le batterie, prodotto difficilmente ripristinabile). Col riassettaggio si ottiene un prodotto finito rifabbricato, di cui bisogna verificare che il livello di qualità corrisponda a quello prefissato. Il prodotto è messo nelle condizioni di lavoro per testarne il funzionamento per poi essere avviato, se l'esito è positivo, ai canali di distribuzione.

Il disassemblaggio si trova a monte di tutta la procedura ed è un'attività estremamente delicata, poiché la sua attuazione incide direttamente sulla qualità del materiale disponibile per le attività future. Tale attività riveste un ruolo centrale nel preservare il valore derivante dal *core*. Le cause principali di ciò sono l'alta incidenza della manodopera, la possibile necessità di dover ricorrere ad attrezzature speciali o il tempo richiesto; tutti questi aspetti sono direttamente influenzati dalla qualità della progettazione e dalla sua capacità di rispondere non solo alle esigenze della fase di utilizzo del bene ma anche a quelle successive con criteri eco-efficienti. Varie ricerche evidenziano che si procede in prevalenza manualmente, mentre il ricorso all'automazione è possibile solo nel caso di grandi lotti di prodotti standardizzati (Clegg, et al., 1994). Ciò è spesso complicato nell'impresa indipendente dal fatto che deve sviluppare un processo di *reverse engineering*, poiché raramente ha accesso alle specifiche dell'OEM.

La fase dell'ispezione e dello smistamento sono strettamente connesse in quanto la prima avrà come scopo l'identificazione dello stato delle componenti

del bene e della valutazione del logoramento, mentre la seconda originerà dei gruppi omogenei di elementi per caratteristiche strutturali, funzionali o di altro genere, tenendo conto soprattutto dei materiali impiegati per realizzarli. Si può immaginare perciò la seconda come il completamento della prima attività. In questo caso ci sono due obiettivi principali: l'individuazione di criteri oggettivi per valutare le condizioni dei componenti, lo sviluppo e l'utilizzo di appropriate apparecchiature di collaudo.

Gran parte del processo si fonda sull'analisi visiva. Sono di grande aiuto in questo caso dispositivi di largo utilizzo come lenti d'ingrandimento, microscopi, macchine fotografiche ad alta risoluzione con elaborazione elettronica dell'immagine. Comunque, nonostante l'evidenza ottica, per alcuni aspetti si rende necessaria un collaudo fisico attraverso delle prove. Ad esempio, per verificare perdite nascoste negli alloggiamenti, si può ricorrere all'aria compressa o a test subacquei, per il tensionamento di una molla a prove meccaniche ecc.. Il risultato del lavoro sarà la selezione in tre sottogruppi:

- riusabili «*as is*», senza bisogno di revisione;
- ripristinabili, per cui la revisione è imprescindibile;
- non riutilizzabili.

Si può dare un impulso verso la standardizzazione delle procedure attraverso la riduzione del numero e delle varianti delle diverse parti che costituiscono il prodotto finale. Si potrà procedere a questo punto alla pulizia delle parti recuperate al fine di rimuovere il deposito generatosi nel corso del tempo e/o per aggiornarne la veste estetica. “Pulire va oltre l'eliminazione di polvere e sporcizia dalle componenti” (Steinhilper, 1998). Può essere necessario rimuovere grasso, ruggine o vecchia vernice. Per la varietà e la complessità di questi aspetti può essere necessario ricorrere a metodi sequenziali e contemporanei come pulizia a getto dell'acqua calda, vapore, benzina, detersivi chimici, pulizia ultrasonica.

Molti processi di pulizia non possono essere fatti derivare da quelli comuni di fabbricazione. Si richiede pertanto lo sviluppo di nuove soluzioni

tecnologiche ad hoc. Queste, man mano che vengono sviluppate, stanno diventando sempre più rispettose dell'ambiente. In particolare si ricorre sempre meno sostanze dal forte impatto ambientale come i clorofluorocarburi (CFC), in passato insostituibili in questa fase. I quattro parametri da tenere sotto controllo nel processo sono:

- effetti chimici (es. effetto dei detersivi sul prodotto);
- temperatura (es. le conseguenze del calore);
- azione meccanica (es. effetto di un getto d'acqua);
- tempo (es. durata dell'operazione).

L'analisi dello stato della tecnologia evidenzia un trend caratterizzato dalla riduzione dei tempi, dall'aumento dei trattamenti meccanici e dal minor impiego di agenti chimici. Importante sarà realizzare tale operazione con accorgimenti e prodotti che non compromettano il componente e che abbinino un basso, se non nullo, impatto ambientale. In questo caso è interessante notare che aspetti all'apparenza di trascurabile importanza, come angoli difficili da pulire ed etichette con i relativi collanti difficili da eliminare, sono tutti elementi che possono ridurre la qualità o la possibilità di riutilizzo.

Nel ripristino rientrano tutte quelle operazioni necessarie, affinché il componente sia in grado di erogare prestazioni in linea con quelle programmate (pari al nuovo se non migliori). Di solito si praticano trattamenti della superficie, riverniciature, revisione o sostituzione dei componenti usurati, ma molto dipende dalle specifiche e dalle condizioni dell'item. Gli strumenti tecnici di norma sono gli stessi di un processo di fabbricazione. La dimensione ridotta dei lotti può portare alla prevalenza del lavoro manuale sull'automazione. Esistono, comunque, dei casi in cui linee di produzione utilizzate per prodotti nuovi sono state «aggiornate» per la rifabbricazione.

I componenti revisionati rappresentano gran parte del prodotto rifabbricato, mentre il ricorso a parti nuove riguarda solo il caso del non riutilizzabile. Molte volte, poi, per limitare il ricorso a pezzi nuovi, il numero delle unità smontate può essere aumentato rispetto a quelle da assemblare. La

finalità è di selezionare abbastanza parti dai *core*, almeno quelle più importanti, di modo da minimizzare il ricorso al nuovo. Bisogna tenere presente che alcune parti, ancora in condizioni accettabili, dovranno comunque essere sostituite, perché le loro performance degraderanno rapidamente con l'usura, pena veder vanificato l'intero processo. Nella fase di ripristino si può avvertire una buona progettazione, poiché può semplificare le procedure, ridurre le attività abbassare i costi e sviluppare componenti destinati a durare nel tempo.

Il riassetto sarà finalizzato ad ottenere un nuovo prodotto. La maggiore difficoltà è costituita dall'assicurare un flusso continuo, quantitativamente e qualitativamente adeguato, affinché non si manifestino blocchi o rallentamenti che inevitabilmente si tradurrebbero in maggiori costi e minori profitti. L'operazione può essere realizzata in quattro modi: con soli componenti revisionati, con l'aggiunta di nuovi componenti, con componenti riusati o cannibalizzati. Un problema di monitoraggio sorge, poiché non è possibile sapere a priori quanti componenti possono essere riutilizzati o ritrattati. Un espediente è l'acquisto e lo stoccaggio di nuove componenti che, in caso di bisogno, saranno a disposizione e potranno essere usati direttamente. Questa soluzione, tuttavia, non è sempre ideale, perché «appesantisce» il magazzino, richiede capitale e potrebbe generare i problemi di obsolescenza.

Se il *lead-time* dei singoli processamenti è alto e disomogeneo, avviare il riassetto delle parti può essere difficile da coordinare. Una soluzione trovata da Volvo è di ipotizzare un tasso di recupero per ogni componente facendo leva sull'esperienza. Sulla base di questo tasso vengono fatti gli ordini e gestito il magazzino. Per esempio se su dodici motori da rifabbricare si prevede che il 40% dei dodici alberi a camme saranno destinati al riciclo; in questo caso, l'azienda ne ordinerà a priori cinque nuovi.⁷

A conclusione di tutto il processo si avrà il controllo destinato ad assicurare il raggiungimento degli obiettivi di qualità che l'organizzazione si prefigge per questa tipologia di prodotti (teoricamente gli stessi, se non migliori, dei prodotti nuovi). Il collaudo in questo caso riguarda tutti gli output del

⁷ Naturalmente bisogna considerare anche i volumi, il valore, la criticità del prodotto e il tempo di evasione per un ordine di nuovi componenti (Ostlin, et al., 2008).

processo. Tale pratica è più rigorosa rispetto al campionamento casuale cui vengono sottoposti i nuovi prodotti.

È probabile che le performance ottenibili da un componente degradino dopo un certo numero di riutilizzi. Estremamente rilevante sarà, quindi, permettere la facile individuazione dei passaggi già subiti da ognuno di essi per evitare di compiere inutilmente operazioni costose, sia economicamente sia in termini di tempo, e di scoprirlo, invece, già nel corso della fase di test e controllo.

1.5 Criticità del processo di rifabbricazione

Gli impianti di rifabbricazione hanno un alto grado d'incertezza e complessità rispetto ai normali processi produttivi specializzati sull'ex novo. La gestione di questi aspetti rende particolarmente critico il ruolo dei sistemi di pianificazione e controllo. Le aziende che praticano la rifabbricazione, infatti, affrontano una serie di problemi che limitano l'efficienza del processo produttivo e che essendo caratteristici di questo settore non possono essere affrontati con i tradizionali *tools* di pianificazione e controllo. In letteratura sono state identificate diverse problematiche di carattere tecnico e gestionale (Guide, 2000):

- le difficoltà nel disassemblaggio del prodotto;
- l'incertezza sulla qualità dei ritorni;
- le difficoltà nell'accoppiamento delle parti;
- l'incertezza nei cicli di lavorazione e nei tempi di trattamento;
- la mancanza di correlazione tra i ritorni e la domanda di prodotti finiti;
- l'incertezza nella quantità e nel tempo di ritorno dei prodotti;
- la configurazione e la gestione di una rete di logistica inversa.

Dall'analisi della Tabella 1-1 si evince che le suddette caratteristiche impattano a vario livello sulla gestione dei sistemi di rifabbricazione ed in particolare sulle attività di pianificazione e controllo della produzione.

Tabella 1-1 : Relazione tra le attività di pianificazione e controllo della produzione e le caratteristiche di un sistema di rifabbricazione (Guide, 2000)

Complessità aggiuntive	Attività di pianificazione e controllo della produzione			
	Previsioni	Logistica	Scheduling/ shop floor control	Gestione e Controllo di magazzino
(1) Incertezza nei tempi e qualità dei ritorni	✓	✓	✓	✓
(2) Necessità di bilanciare ritorni e domanda				✓
(3) Disassemblaggio dei prodotti restituiti			✓	✓
(4) Incertezza nel recupero dei materiali dagli item			✓	✓
(5) La necessità di una rete di logistica inversa		✓		✓
(6) Complicazioni delle restrizioni di accoppiamento dei materiali			✓	
(7) Il problema dei routing stocastici e dell'alta variabilità dei tempi di processamento			✓	

Nel prosieguo del capitolo si procederà con una discussione sulla genesi di ciascuna delle suddette caratteristiche complicanti in un sistema di rifabbricazione, e sulla valutazione dell'influenza di ciascuna di esse sulle funzioni di pianificazione e controllo della produzione e sulle correlate decisioni operative.

1.5.1 Difficoltà nel disassemblaggio del prodotto

I *core* attratti nel sistema di logistica inversa, vanno smontati, affinché si possa procedere al trattamento dei componenti. Una volta smontati i prodotti in moduli più o meno semplici, si procede alla loro valutazione. Le parti al di sopra di standard minimi vengono instradate per le operazioni necessarie. Quelle che, invece, non superano la valutazione, secondo i casi, potranno essere usate come ricambi o vendute per il valore della materia prima.

Il disassemblaggio non può essere considerato come un assemblaggio fatto al contrario. Infatti, un prodotto progettato per un assemblaggio ottimale, non è necessariamente progettato per essere poi smontato; anzi quelli, che non sono stati progettati per il disassemblaggio, hanno tassi di recupero di materiale meno prevedibili, tempi d'intervento maggiori e generano molti scarti (Nasr, et al.,

1998). Non è raro che i componenti finiscano col rimanere danneggiati durante tali operazioni e questo produce un incremento il tasso di utilizzo di materiali nuovi. Molti prodotti, concepiti con un'ottica monouso, vengono addirittura progettati per non essere più smontati di modo da rendere impossibile ogni tipo d'intervento.

In generale, le operazioni di smontaggio sono estremamente incerte rispetto al fattore tempo e di norma sono caratterizzate da un alto contenuto di lavoro manuale.⁸

Le informazioni che si possono raccogliere durante il processo di disassemblaggio hanno impatto su tutte le successive attività del processo di rifabbricazione e sulle corrispondenti attività di pianificazione: pianificazione e controllo della produzione, scheduling, pianificazione dei fabbisogni di materiali e risorse.

Il disassemblaggio e il conseguente rilascio⁹ delle parti richiedono un alto grado di coordinazione con il riassetto in modo da evitare scorte elevate e bassi livelli di servizio.

1.5.2 Incertezza nella qualità dei ritorni

Finché non viene eseguita un'accurata ispezione, le condizioni del prodotto restituito e delle sue componenti rimangono sconosciute. Le condizioni dei prodotti raccolti incidono sulla scelta dell'opzione di recupero (Figura 1-9). Infatti, al diminuire del livello qualitativo aumentano i costi di trattamento. *Core* in ottime condizioni possono essere ricollocati sul mercato senza alcun intervento, mentre per quelli di bassa qualità non c'è altra via che il riciclo della materia prima. In generale si può dire che la qualità iniziale è relazionata in modo inverso con i costi d'intervento ed in modo diretto col prezzo di collocamento.

⁸ Molto spesso il disassemblaggio di unità simili può richiedere tempi molto diversi con coefficienti di varianza pari a 5.0

⁹ Nella pratica si utilizzano meccanismi di rilascio di tipo push, Pull o misti push/pull.

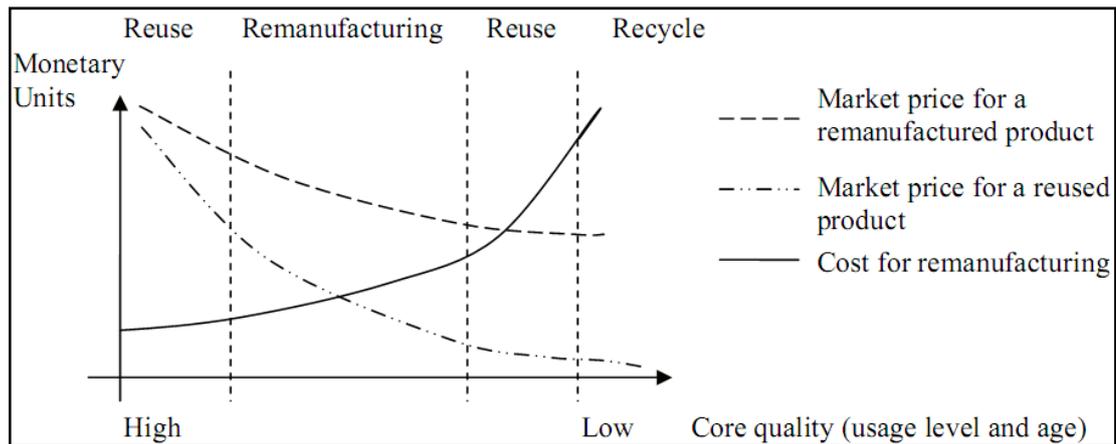


Figura 1-9: Illustrazione delle preferenze sulle opzioni di recupero in funzione della qualità dei core.(Ostlin, et al., 2007)

Due prodotti identici una volta restituiti potrebbero rendere disponibili due set diversi di parti da trattare. Tali parti potrebbero essere riutilizzate in una varietà di applicazioni, in funzione delle condizioni in cui si trovano (es. alcune potrebbero essere trattate, altre usate come ricambio, altre ancora vendute o riciclate). Tale incertezza complica il problema degli acquisti di materie prime e di pianificazione e controllo delle scorte.

L'incertezza sul materiale recuperato si misura attraverso l'indice MRR (*material recovered rate*).¹⁰

Il tasso di recupero dei materiali è funzionale alla determinazione della dimensione dei lotti d'acquisto e di rifabbricazione e gioca un ruolo critico nell'implementazione di sistemi MRP¹¹.

Le imprese acquistano parti e materiali di ricambio da usare quando le parti restituite non sono in condizioni da essere utilizzate. Mediamente in un prodotto rifabbricato un terzo delle parti utilizzate è nuovo (Nasr, et al., 1998). Una stima corretta di tale parametro in fase di programmazione rende, quindi, possibile calcolare con certezza il fabbisogno di parti di ricambio nel processo. Il

¹⁰ L'MRR di una parte da un prodotto è la frequenza con cui tale parte è in condizioni tali da essere rifabbricata. Potrebbe essere inteso come un indice che misura la «qualità dei core». Per il calcolo è possibile ricorrere sia a dati storici che a giudizi soggettivi. La maggioranza delle aziende (95% ca.) usa semplici medie per calcolare l'MRR, mentre la restante parte utilizza solitamente modelli di regressione multipla.

¹¹ L'utilizzo di sistemi MRP opportunamente modificati (MRR) è abbastanza diffuso nella rifabbricazione, ma esso non risolve del tutto i problemi con il rilascio degli ordini di acquisto, con il controllo delle scorte o le date di consegna ordini.

dimensionamento dei lotti d'acquisto fornisce un livello di protezione contro la variabilità del tasso di recupero dei materiali dal momento che gli ordini sono solitamente pianificati per coprire più periodi.¹² Tra i problemi legati all'acquisto, presenti in tale ambito, bisogna sottolineare lunghi *lead-time*, un unico fornitore per una determinata parte, scarsa visibilità dei fabbisogni, piccoli ordini d'acquisto e di conseguenza scarsa affidabilità dei fornitori.

Un tasso di recupero variabile complica anche il dimensionamento dei lotti di prodotti da rifabbricare, l'incertezza nel valore di MRR, infatti, potrebbe ritardare il rilascio dei lotti fino al raggiungimento di un certo numero di parti dal disassemblaggio. Il suddetto dimensionamento è ulteriormente complicato nei sistemi di rifabbricazione dal problema dei cicli di lavorazione variabili (cfr. 1.5.4).

1.5.3 Difficoltà nell'accoppiamento delle parti

Il problema dell'accoppiamento delle parti si verifica quando il cliente restituisce il *core* per il trattamento conservandone la proprietà. Una volta portata a termine l'operazione, infatti, questi richiederà che lo stesso gli venga restituito nella sua configurazione originale.

La necessità di rispettare delle restrizioni nel riassettaggio delle parti obbliga le aziende a coordinare attentamente le operazioni di disassemblaggio con quelle di rifabbricazione e riassettaggio per evitare la commistione dei componenti. Tale necessità è frequente per le aziende che lavorano su commessa (*make to order*) e si applica di solito per la rifabbricazione di beni strumentali (es. grandi motori diesel) o dove c'è la necessità di assicurare l'affidabilità di un sistema assemblato (es. motori di aerei). Alcune aziende lavorano soltanto sui prodotti forniti dai clienti. Questa dipendenza ha il vantaggio di non presentare nessun rischio nell'acquisizione dei *core* in funzione della domanda attesa, ma è

¹² Il dimensionamento del lotto d'acquisto è effettuato facendo ricorso a regole di (Guide, 2000):

- ✓ «*lot sizing* dinamico», che prendono in considerazione modelli storici di consumo, prezzi di rottura e livello di servizio richiesto;
- ✓ «*lot for lot*», dove gli ordini di acquisto coincidono con i fabbisogni netti, molto comune a causa della semplicità del metodo e della percezione di avere un basso livello di scorte.
- ✓ lotto fisso, quando si ha un basso fabbisogno d'acquisto.

sfavorevole per l'orizzonte di pianificazione molto breve con una visibilità molto bassa circa i fabbisogni di parti da sostituire. Risulta che i componenti di ricambio, ad esempio, sono generalmente più costosi rispetto ad una situazione in cui si lavora per il magazzino (*make to stock*).

Le restrizioni nel riassettaggio impattano anche sui sistemi informativi aziendali, sullo scheduling della produzione, sui fabbisogni di risorse e sulla gestione dei materiali.

Per fornire al cliente la stessa unità, le parti devono essere numerate, etichettate e deve essere garantita la tracciabilità. Ciò aumenta la criticità del sistema informativo.¹³

Il riassettaggio di un'unità, composta da parti accoppiate, può subire facilmente rallentamenti dal momento che il ritardo su una singola parte o un errore nella gestione delle priorità di processamento può ripercuotersi sui tempi di evasione dell'intero ordine. Le parti comuni sono solitamente gestite a magazzino (l'abbassamento del livello del magazzino oltre un certo valore genera un ordine di rifabbricazione), mentre le parti più costose sono gestite attraverso particolari regole di priorità o sulla base di specifici piani di riassettaggio.

Le aziende di rifabbricazione sottoposte a tale caratteristica complicante presentano tipicamente orizzonti di pianificazione estremamente ridotti, addirittura in alcuni casi la pianificazione dei fabbisogni di materiali e di risorse solo al momento della riconsegna del prodotto da parte del cliente. Il problema della gestione delle risorse viene di solito risolto predisponendo un eccesso di disponibilità per le risorse critiche. La gestione degli approvvigionamenti raramente avviene tramite i sistemi MRP, ma attraverso sistemi a punto di riordino per le parti comuni e a fabbisogno per quelle più costose.

1.5.4 Incertezza nei cicli di lavorazione e nei tempi di trattamento

Cicli di lavorazione altamente variabili riflettono l'incertezza riguardo alle condizioni delle unità restituite e rappresentano una criticità. Per ogni

¹³ I metodi usati per garantire la tracciabilità vanno da sistemi MRP, a database appositamente sviluppati fino ad etichettature manuali.

componente è, infatti, possibile determinare un numero di operazioni massime necessarie nella peggiore delle ipotesi per ripristinarne le caratteristiche iniziali, il cosiddetto «ciclo di lavorazione massimo».. Nella maggior parte dei casi, comunque, sarà necessario solo un sottoinsieme d'interventi. Dal numero di operazioni da realizzare dipende il tempo di riprocessamento. Anche la variabilità dei tempi di processamento è funzione dell'incertezza delle condizioni dell'unità restituita.¹⁴

Tale incertezza ovviamente complica le attività di scheduling e di pianificazione dei fabbisogni di risorse e materiali.

Per favorire la pianificazione delle risorse si fa ricorso a cicli di lavorazione stocastici, ovvero liste di tutte le operazioni possibili nelle quali ad ogni attività si associa una certa probabilità che questa venga avviata. Non tutte le parti richiederanno la stessa serie di operazioni e solo poche richiederanno le stesse operazioni di una parte nuova.

La variabilità del materiale recuperato, oltre a comportare una difficile stima del tempo di attraversamento, determina anche lo spostamento dei colli di bottiglia del processo, che è considerato l'aspetto più critico nelle attività di scheduling e dimensionamento dei lotti di rifabbricazione.

La specificità delle attività di rifabbricazione richiesta anche per parti identiche spinge a rilasciare un ordine di rifabbricazione per volta, ovvero ad usare lotti unitari di produzione eccetto per alcune parti comuni per le quali il rilascio avviene quando viene raggiunto un numero minimo di pezzi. Alcune aziende, però, utilizzano anche tecniche di dimensionamento a lotto fisso tipicamente basate sull'EOQ o a lotto variabile basate sui vincoli di capacità, domanda prevista o livello di servizio.

1.5.5 Bilanciamento del ritorno dei prodotti con la domanda

Il problema del bilanciamento del ritorno dei *core* con la domanda di prodotti rifabbricati, è collegato a variabili come vita attesa del prodotto e tasso

¹⁴ Si osservi, però, che alcune operazioni del ciclo di rifabbricazione possono avere una durata certa, come ad esempio il caso della pulitura.

d'innovazione tecnologica. L'obiettivo, in modo da massimizzare il profitto, è quello di riuscire a bilanciare il ritorno dei prodotti dai consumatori con la domanda di prodotti rifabbricati sul mercato. Questa necessità ha risvolti sulla gestione del magazzino e richiede una stretta coordinazione tra le diverse aree aziendali per compensare l'approvvigionamento dai fornitori di *core* con eventuali componenti di ricambio aggiuntivi. Un ruolo centrale, in questo caso, è quello della rete logistica.

Le aziende cercano di realizzare questo bilanciamento in modo da evitare alti livelli di scorte, quando il flusso di ritorno è maggiore della domanda, o bassi livelli di servizio nel caso contrario. Una parte delle aziende tenta di raggiungere il bilanciamento, mentre altre preferiscono smaltire periodicamente l'eventuale eccesso di scorta.

Le aziende, di solito, basano i loro programmi di acquisizione di *core* su un mix di domanda effettiva e prevista. Le aziende che si basano solo sulla domanda effettiva, di solito adottano strategie di produzione *ATO* e *MTO*. Le aziende *MTS* che basano il programma di acquisizione solo sulla domanda effettiva, di norma hanno pochi problemi nell'approvvigionamento di *core*. Comunque, le imprese difficilmente si trovano a dover gestire un eccesso di *core*, poiché il maggior problema è semmai identificare le fonti disponibili di quantità sufficienti d'input. Se si guarda allo studio di Hammond *et al.* (1998), si può notare che questo semmai conferma una marcata preoccupazione degli attori sull'approvvigionamento dei *core* e sulla creazione di un sistema di logistica inversa che assicuri i ritorni.

La dipendenza della gestione dei materiali di acquisto dalle scelte relative al processo di acquisizione è evidente, la dimensione dei lotti delle parti di rimpiazzo, infatti, dipende dal volume dei *core* e dalle loro condizioni.

La gestione del processo di acquisizione dei *core* impatta sulla pianificazione delle risorse e sullo scheduling della produzione, risentendo queste fortemente della fonte dei *core* e del loro timing. Tale effetto è ancora più marcato nel caso di condivisione di risorse produttive tra produzione e rifabbricazione.

1.5.6 Incertezza nella quantità e nel tempo di ritorno dei prodotti

Questa incertezza è conseguenza della natura del ciclo di vita del prodotto e dell'efficienza del sistema logistico approntato allo scopo. Diversi fattori, tra cui la fase del ciclo di vita del prodotto e il tasso d'innovazione tecnologica, influenzeranno il tasso di ritorno. Tale caratteristica rende difficile il bilanciamento con la domanda attesa, provocando i problemi visti nel paragrafo precedente. Le aziende solitamente dispongono di strumenti per il controllo delle quantità o dei tempi di ritorno, ma raramente riescono a controllare entrambi i parametri (Guide, 2000). Le tipologie di relazioni che normalmente s'instaurano tra impresa e consumatore, sono le seguenti (Ostlin, et al., 2008):

- *ownership-based*, l'OEM mantiene la proprietà del prodotto, mentre il cliente se ne serve (es. affitto o leasing). Il controllo sulla base installata è penetrante e regolato spesso attraverso contratti;
- *service contract*, la relazione è basata su un contratto per la fornitura di un servizio da parte dell'impresa al consumatore che include la rifabbricazione;
- *direct-order*, il cliente consegna il prodotto usato, affinché questo venga rifabbricato per poi riottenerlo indietro una volta effettuato il trattamento;
- *deposit-based*, comune nell'*automotive*, quando il cliente vuole acquistare un rifabbricato è obbligato a consegnare un *core*, fungendo così da fornitore;
- *credit-based*, quando il cliente riporta il *core*, riceve un credito specifico che potrà essere speso per l'acquisto di un rifabbricato;
- *buy-back*, il rifabbricatore compra i *core* che desidera da un fornitore che può essere l'utilizzatore finale, un distributore, un riciclatore;
- *voluntary-based*, il *core* viene consegnato volontariamente senza compenso.

Le politiche d'incentivo non sempre sono efficaci per ridurre l'incertezza dei tempi. I ritorni, infatti, risentono delle vendite, eventi incerti. Analogo discorso va fatto per le apparecchiature in leasing, nel qual caso si potrebbe procedere al rinnovo del contratto o al riscatto. Si rende necessario, quindi, un ricorso più o meno marcato al magazzino.

1.5.7 Configurazione e gestione di una rete di logistica inversa

In un ambiente di produzione tradizionale, i nuovi prodotti partono da un singolo punto per raggiungere destinazioni multiple, facendo leva sul sistema distributivo. Il processo logistico funziona in senso divergente ed ha la finalità di assicurare l'incontro tra prodotto e consumatore. Si parla in questo caso di «*forward distribution*». Nel recupero dei prodotti uno dei maggiori problemi è la raccolta dell'usato e/o dei relativi imballaggi. Per essere poi avviati al trattamento, i prodotti usati provengono da fonti differenti e devono raggiungere un unico punto di raccolta. Tale flusso convergente viene indicato come «*reverse distribution*» o anche «*reverse logistic*». Si comincia a parlare in modo sistematico di logistica inversa a partire dal 1975 (Gultinan, et al., 1975).

L'attività di raccolta, di quelli che ora sono diventati *core* per il ciclo di rifabbricazione, coinvolge sostanzialmente gli stessi attori che collaborano al ciclo diretto; s'incontrano perciò fornitori, produttori, distributori, consumatori. La progettazione di una rete di logistica inversa, capace di sviluppare le relazioni tra le varie parti, è molto complessa, soprattutto per le aziende in cui i due sistemi sono integrati (aziende che hanno un sistema di rifabbricazione integrato nel sistema produttivo tradizionale).

Nella Tabella 1-2 vengono sintetizzate le principali differenze tra una rete di logistica diretta ed una inversa.

Tabella 1-2: Principali differenze tra un sistema di logistica diretto ed inverso (Tibben-Lembke, et al., 2002)

	LOGISTICA DIRETTA	LOGISTICA INVERSA
Previsioni	Relativamente semplici	Difficili
Trasporto	<i>one to many</i>	<i>many to one</i>
Qualità dei prodotti	uniforme	Non uniforme
Destinazione	Chiara	Non chiara
Canali distributivi	Standard	Dipendenti dalle situazioni
Opzioni di disposizione	Chiare	Non chiare
Prezzo	Relativamente uniforme	Dipendente da più fattori
Importanza della velocità	Riconosciuta	Spesso non percepita come una priorità
Costi sostenuti	Semplici da monitorare grazie al sistema informativo	Non sempre rilevabili in modo chiaro
Gestione del magazzino	Ottimale	Incerta
Ciclo di vita del prodotto	Gestibile	Complesso
Negoziazione tra le parti	Diretta	Complicata da diverse variabili
Strategie di marketing mix	ben conosciute	In fase di sviluppo
Informazioni	Sempre disponibile grazie al tracking	Non sempre disponibili

La complessità della distribuzione inversa deriva dall'alto grado d'incertezza inerente all'attività di raccolta. La collaborazione del consumatore non è un elemento scontato. Anzi, il sistema di logistica inverso s'intreccia con le politiche aziendali volte a stimolare il consumatore in tal senso. "La sfida all'interno del settore non è semplicemente gestire l'irregolarità del flusso inverso di prodotti, ma riuscire ad ottenerli in primo luogo" (Seitz, et al., 2004).

Oltre al recupero dei core direttamente dai clienti vi sono altre fonti spesso utilizzate nella pratica. In alcuni casi si fa ricorso ad intermediari (*core broker*), oppure ad agenzie che fornendo informazioni sui core mettono in contatto domanda ed offerta. Infine quando il prodotto non è sul mercato da un tempo sufficiente a produrre dei ritorni si può far ricorso ai cosiddetti *seed stock*, ovvero prodotti nuovi che non hanno superato i test di qualità dell'OEM e che vengono acquistati da soggetti rifabbricatori.

2

IL BUSINESS DELLA RIFABBRICAZIONE

I driver che hanno spinto le imprese ad intraprendere dei programmi di rifabbricazione sui prodotti sono diversi ed in molti casi dipendenti dalla collocazione geografica dell'attore e dalla categoria di prodotto. Sebbene molte imprese abbiano avviato quest'attività come mero adempimento nei confronti di normative volte al recupero del prodotto sempre più stringenti, l'evidenza empirica mostra che nei casi di maggior successo si è cercato semplicemente di cogliere un'opportunità di business in precedenza identificata sul mercato. Le imprese che concepiscono i programmi di rifabbricazione all'interno di un modello di business integrato, con l'orientamento a costruire un vantaggio competitivo durevole, antepongono le valutazioni di profitto a prescrizioni ed incentivi di natura legislativa.

Obiettivo del presente capitolo, dunque, è quello di *sezionare* il business della rifabbricazione allo scopo di evidenziarne i punti di forza e di debolezza, le sue opportunità ed i suoi pericoli.

2.1 Caratteristiche di un prodotto rifabbricabile

Virtualmente ogni prodotto fabbricabile può essere sottoposto a rifabbricazione alla fine ciclo d'uso. Tuttavia, aspetti come il modello di business o la progettazione a livello dettagliato possono far sì che rifabbricare alcuni prodotti sia più profittevole rispetto ad altri oppure rendere in alcuni casi quest'opzione del tutto impraticabile. In letteratura si è cercato di tracciare il profilo tendenziale di un item rifabbricabile, ricorrendo a dei parametri.

L'orientamento prevalente delle ricerche è stato quello, non tanto di valutare la «rifabbricabilità» da un punto di vista strettamente tecnico, quanto di verificare le condizioni che permettono l'avvio di un business sostenibile per l'impresa. L'Oakdene Hollins, ha avviato nel Regno Unito un'indagine su larga scala per fare il punto della situazione e simulare possibili futuri sviluppi. Attraverso un lavoro d'interviste, analisi e sondaggi che ha coinvolto 14 imprese, nel 2003 si è riusciti ad identificare tre parametri chiave dell'attività (Parker, 2003):

- ✓ *l'intrinsic value*, il valore sul mercato del prodotto che sta per essere processato (tale aspetto si collega al concetto di *core*);
- ✓ *la re-constructuability*, la facilità di smontare il prodotto per poi assemblarlo nuovamente in un secondo momento alla fine del trattamento;
- ✓ *l'evolution rate*, la velocità con cui nuove varianti del prodotto vengono lanciate sul mercato.

Sulla base di questi parametri, Parker (2003) raccomanda interventi di carattere legislativo volti a permettere il riuso delle componenti nei nuovi prodotti, investimenti in ricerca per sviluppare il *Design for Remanufacturing (DfRem)* e lo sviluppo di un sistema di servizi incentrato sul prodotto per allungarne la vita utile e, dove possibile, sottoporlo ad aggiornamenti che possano migliorarlo da un punto di vista stilistico e funzionale.

Robert Lund ha identificato 75 categorie di prodotto che si prestano

agevolmente ad una rifabbricazione ed ha sviluppato dei criteri di riferimento, peraltro confermati da ricerche successive (Lund, 1998).

Tali criteri sono:

- ✓ il prodotto è un bene durevole;
- ✓ si è solo guastato perdendo le sue funzionalità;
- ✓ il prodotto è standardizzato e composto da parti intercambiabili;
- ✓ il valore aggiunto rimanente a fine vita è alto;
- ✓ il costo per ottenere il prodotto è basso se confrontato col valore aggiunto rimanente;
- ✓ la tecnologia su cui si basa è relativamente stabile in un arco di tempo che supera il singolo ciclo di vita;
- ✓ il consumatore va informato sulla disponibilità del rifabbricato, di modo da verificare l'esistenza di un'adeguata domanda sul mercato;
- ✓ esiste una tecnologia in grado di estrarre i componenti senza danneggiarli e di ripristinare il prodotto.

Sundin (2004) individua empiricamente quattro caratteristiche rilevanti del prodotto/componente che facilitano l'esecuzione delle attività previste in un processo di rifabbricazione:

- ✓ resistente all'usura;
- ✓ facile da identificare;
- ✓ di facile accesso;
- ✓ semplice da trattare.

Queste analisi forniscono un valido supporto per comprendere gli aspetti che vanno sviluppati in fase di progettazione per favorirne un appropriato e semplice trattamento a fine vita.

Nell'attuale scenario sussiste in aggiunta l'esigenza di un valore unitario minimo per alcune categorie di beni, affinché alla fine del processo si riesca ad ottenere un margine di guadagno, che non di rado finisce con

l'essere contenuto. Solo a questa condizione, infatti, oggi si può considerare la rifabbricazione come un business attrattivo e non solo congegnato per questioni di sostenibilità, ma fisiologicamente in perdita. Ciò è dovuto al fatto che le diverse opzioni di recupero sono particolarmente costose da attuare per l'alta incidenza del costo della manodopera. Questo aspetto, tuttavia, dovrebbe essere destinato a diventare secondario in futuro per via dell'aumento dei volumi di prodotti trattati con positivi risvolti su economie di scala ed esperienza, nonché sul tasso di automazione del processo (Nasr, et al., 1998).

2.2 Le cifre del business

Il business della rifabbricazione nasce in America durante la Grande Depressione degli anni '30 per conseguire la definitiva consacrazione nel corso della Seconda Guerra Mondiale, quando gli impianti di produzione vengono convertiti per le commesse militari. La maggior parte delle risorse disponibili vengono riservate ad esigenze belliche, mentre diventano scarse quelle con destinazione civile. È in questo contesto che, per far fronte alla diminuzione dell'offerta di nuovi prodotti, si cominciano a rifabbricare quelli usati di modo da poterne prolungare la vita utile e compensare la domanda.

Alcune categorie di prodotto su cui quest'opzione è correntemente praticata sono:¹⁵

- ✓ aerospaziale;
- ✓ componenti dell'autoveicolo;
- ✓ macchinari industriali;
- ✓ macchine da gioco;
- ✓ sistemi di comunicazione dati;
- ✓ robot;

¹⁵ Si veda *The Remanufacturing Institute*. "What products are remanufactured?"... [Online] Web Tek Computer Company. [Riportato: 30 Agosto 2008.] <http://www.reman.org>.

- ✓ apparecchi elettrici ed elettronici con alto valore a fine vita;
- ✓ compressori;
- ✓ forniture di ufficio;
- ✓ fotocopiatrici;
- ✓ cartucce per stampanti;
- ✓ strumenti musicali;
- ✓ refrigerazione;
- ✓ distributori automatici.

Come si evince dall'elenco il campo d'azione riguarda prevalentemente beni durevoli o di consumo ad uso professionale. Tale pratica ha avuto fino ad oggi un basso impatto sui beni di largo consumo sui quali hanno una forte rilevanza per quanto riguarda la decisione d'acquisto aspetti come il *fashion design* o lo status. La diffusione è ormai consueta nei settori di beni ad altissimo valore e ad alto contenuto tecnologico come è il caso dell'aerospaziale, del settore aereo e delle commesse militari. Si può dire che oggi la rifabbricazione prospera nei settori che hanno abbracciato il concetto *Product Service Systems* (PSS), basato sull'accesso al servizio fornito dal prodotto senza che se ne detenga la proprietà. In questo caso, quando il prodotto non è più utile per l'utente, potrà essere utilizzato da altri soddisfacendo obiettivi condivisi di longevità, durevolezza e prestazione.

L'industria della rifabbricazione viene definita da Lund come un «gigante nascosto». La ragione di questa definizione sta nel fatto che la maggior parte delle imprese che opera in questo campo non si dedica esclusivamente a questa attività, ma la pratica come servizio di *aftermarket*.¹⁶ Per dare qualche numero si stima che negli USA il giro d'affari nel 2003 sia stato intorno \$ 53mld con 73.000 imprese impegnate e 480.000 occupati. Per fare qualche comparazione l'industria dell'acciaio nello stesso periodo vale \$ 56mld con 240.000 occupati.

¹⁶ La rifabbricazione non viene considerata un settore industriale neppure negli USA come dimostra il *North American Industry Classification System* (NAICS), <http://www.census.gov/naics/2007/naics07-6.xls>.

Nel Regno Unito il suo valore nel 2004 è stato di circa \$ 5mld, grosso modo lo stesso ammontare dell'industria del riciclo. I dati sono piuttosto difficili da reperire, vista la sovrapposizione tra produttori e rifabbricatori, tra OEM e «terze parti», indipendenti o che lavorano su commessa, ed, infatti, per il nostro Paese non ci sono statistiche al riguardo. Comunque, il potenziale di crescita del business della rifabbricazione è altissimo, soprattutto nei nuovi settori e sul mercato europeo, dove tale processo è stato spesso sottovalutato. Infatti, se si compara la categoria di prodotto dal maggior rilievo, la componentistica auto, si può osservare che a dispetto di una capacità produttiva approssimativamente simile tra le due sponde dell'oceano, negli USA si rifabbricano 60 MLN di componenti, a fronte dei 15 in Europa (Lund, 1996).

Tabella 2-1: Distribuzione delle imprese impegnate nella rifabbricazione per settore industriale(Lund, 1996)

SETTORE INDUSTRIALE	PRODOTTI	IMPRESE NEL DATABASE	IMPRESE STIMATE NON NEL DATABASE	TOTALE
Automotive	Alternatori, Starter, Motori, Testate, Pompe ecc.	4.536	46.000	50.536
Compressori e refrigerazione	Condizionatori e Compressori Refrigeranti	55	100	155
Apparati elettrici	Trasformatori, Motori elettrici ecc.	2.231	11.000	13.231
Macchinari	Macchinari ed Attrezzature per varie Industrie	90	30	120
Forniture per ufficio	Scrivanie, Divisori ecc.	220	500	720
Pneumatici	Pneumatici per auto, Camion, off road ecc.	1.210	180	1.390
Toner e cartucce	Toner laser e cartucce a getto d'inchiostro	1.401	5.100	6.501
Valvole	Valvole di Controllo e Sfiato ecc.	110	300	410
Altri	Varie	50	200	250
Totale		9.903	63.410	73.313

Sulla base delle ricerche di Lund (1996) la maggior parte delle imprese impegnate in questa pratica sono imprese indipendenti, mentre gli

OEM, giocano un ruolo contenuto. Si può notare in Tabella 2-1 che la maggior parte dei rifabbricatori americani opera nella componentistica auto, circa il 70% sul totale. Non a caso l'industria automobilistica ha una lunga tradizione nel recupero di motori, ma anche altre parti del veicolo, che possono essere utilizzate in più cicli prima della definitiva demolizione. La Tabella 2-1, comunque, si riferisce a dati vecchi di un decennio. Oggi si stima che il peso dell'auto si sia ridimensionato a favore di altre categorie di prodotto come le forniture per ufficio o la fotografia. Passando ad esempi specifici si possono individuare imprese specializzate indipendenti come l'americana Flextronics, azienda molto integrata verticalmente e con una vocazione internazionale, in possesso di un ampio know-how per il recupero stampanti, PDAs, cellulari, apparecchiature mediche di consumo, notebook e desktop.

Per quanto riguarda gli OEM, Xerox è leader mondiale nella rifabbricazione di fotocopiatrici ed altre attrezzature per ufficio, il cui ritorno è assicurato da cessioni in leasing. Xerox Europa, che rappresenta circa il 27% del business mondiale, ha riportato nel 2007 un fatturato di \$ 5,8mld di dollari tra vendite, leasing e servizi. La divisione europea serve 600.000 clienti, ha una base di 1,5mln di macchine installate ed effettua oltre un milione di consegne (di unità, componenti e parti) all'anno attraverso il suo canale distributivo. Nel 1991, la Xerox si pone l'obiettivo di diventare un'azienda rifiuti-zero. Tutti i prodotti, sono sviluppati almeno per soddisfare gli standard ambientali governativi ed interni, quelli fissati autonomamente dall'impresa. Gli standard interni sono frequentemente più stringenti di quelli governativi. I prodotti sono raccolti dai clienti e restituiti ad uno dei centri di ritorno logistico. In questo modo si attiva il flusso di logistica inversa dei prodotti dall'utente finale a Xerox per rendere possibile il riutilizzo (Guide, et al., 2003).

Il flusso diretto dei prodotti rifabbricati riporta i prodotti da Xerox agli utenti finali. I clienti per i prodotti rifabbricati, spesso non sono gli stessi

clienti per i nuovi prodotti. Xerox Europa prende indietro tutti i prodotti (fotocopiatrici, stampanti commerciali e accessori) che ha venduto o concesso in leasing. Il tasso di ritorno è del 65%, dove il tasso di ritorno è misurato come rapporto tra numero di unità che rientrano nel sistema produttivo sul totale delle unità vendute. L'implementazione di questo programma ha permesso alla Xerox di ottenere un risparmio di circa \$ 76mln nel 1999.

La rifabbricazione delle unità e il riutilizzo delle parti, sono i componenti fondamentali della strategia aziendale per raggiungere l'obiettivo zero rifiuti. Incorporando i concetti di semplicità del disassemblaggio, durevolezza, predisposizione al riutilizzo e al riciclo nella fase di progettazione, Xerox massimizza il potenziale di fine vita di propri prodotti e componenti. Attualmente, più del 90% di quanto progettato è rifabbricabile. La rifabbricazione, la cannibalizzazione ed il riciclaggio di parti, hanno permesso di evitare che 142mln di libbre di rifiuti finissero in discarica nel solo 2004. I benefici finanziari di questa politica orientata al recupero ammontano a molte centinaia di milioni di dollari l'anno.

Il maggiore ostacolo al successo del programma di rifabbricazione, secondo i responsabili, è stato la diffusione tra alcuni clienti dell'idea che i prodotti contenenti alcune parti non nuove, possano essere inferiori dal punto di vista prestazionale ai prodotti composti esclusivamente da parti nuove. Il processo unico, le tecnologie utilizzate e la garanzia prestata, però, assicurano che tutti i prodotti indipendentemente dalla presenza di parti rifabbricate, abbiano gli stessi standard qualitativi, le stesse performance e la stessa affidabilità.

Altre imprese come Kodak e Fuji praticano abitualmente questa opzione sulle fotocamere monouso che ritornano per lo sviluppo delle pellicole. Nel 1990 Kodak ha iniziato un programma di riprogettazione delle proprie macchine fotografiche «usa e getta» per rendere possibile il riciclo e il riutilizzo delle parti. L'implementazione del programma di recupero dei

prodotti a ciclo chiuso avviene in due fasi. La prima fase è caratterizzata dal nuovo design, sviluppato per facilitare la riusabilità di parti e componenti. Oggi l'intera linea di macchine fotografiche usa e getta può essere rifabbricata o riciclata, e la percentuale di materiale, per macchina fotografica, che è riutilizzabile varia dal 77% all'80%. La seconda fase si sviluppa in collaborazione con i rivenditori di macchine fotografiche in modo da far ritornare le macchine fotografiche usate alla Kodak. Attualmente si registra un tasso di ritorno maggiore del 70% negli Stati Uniti e maggiore del 60% a livello mondiale. Dal 1990 tale programma, applicato in oltre 20 Paesi ha permesso il riutilizzo da parte di Kodak di 310mln di macchine fotografiche (dato relativo al 1999).

Il processo per il riutilizzo delle macchine fotografiche inizia quando il consumatore restituisce il prodotto al rivenditore per sviluppare le fotografie. Kodak si è accordata con altri produttori (Fuji, Konica ed altri) in modo che le macchine fotografiche possano essere mandate a centri di raccolta comuni. Presso questi centri i ritorni vengono classificati in base al produttore e al modello. Ultimate le operazioni di selezione, vengono poi spediti presso gli impianti dei produttori che hanno ottenuto il subappalto per la rifabbricazione. Per le macchine usa e getta Kodak il tempo intercorrente dalla raccolta del prodotto a fine vita alla collocazione del prodotto rifabbricato sul banco del negozio è di circa 30 giorni. Il prodotto finale, contenente parti rifabbricate e materiali riciclati, non è distinguibile dai i consumatori rispetto al prodotto che contiene solo parti ex novo (Guide, et al., 2003).

Caterpillar, impegnata in questo tipo di produzione dal 1972, nel 2005 ha registrato nella «Divisione *Remanufacturing*» un fatturato pari a \$ 1mld. Altri *brand* blasonati impegnati in questo campo sono General Electric, Boeing, Deere, Navistar, HP e Pitney Bowes. Negli USA, comunque, il rifabbricatore di maggiori dimensioni rimane a distanza di decenni ancora il Dipartimento della Difesa. Per quanto riguarda le commesse militari si tratta

del canale prediletto per la gestione della dotazione.

Gli aerei militari vengono normalmente rifabbricati per le Forze Armate. L'aereo in sé è un prodotto molto complesso (decine di migliaia di componenti), estremamente costoso (costi di sostituzione di centinaia di milioni di dollari) ed ha una vita attesa lunga (per alcuni aerei superiore ai 30 anni). Comunque, i singoli componenti dei velivoli potrebbero avere una vita attesa inferiore ai 5 anni. Questa combinazione di componenti con vite attese lunghe e brevi richiede di base un approccio di progettazione modulare. Tale approccio permette un *upgrade* tecnico abbassando, quindi, i costi da sostenere durante il ciclo di vita di un *asset* di per sé dispendioso. Gli sforzi della rifabbricazione si focalizzano sull'estensione della vita del prodotto con item finali che mantengono tipicamente la loro identità. Anche gli aerei civili sono sottoposti a simili procedure. Infatti, molti dei programmi di rifabbricazione militare, sono stati adoperati con successo al settore commerciale.

Sulla base di questi dati si può notare un'intensa attività, che, però, è ristretta all'interno di business specifici. Dove le condizioni lo permettono si recuperano i prodotti su vasta scala rispetto al normale ciclo di fabbricazione. Il processo, tuttavia, stenta ad uscire da questi ambiti circoscritti, stenta ad affermarsi come applicazione industriale su vasta scala, al di là dei settori tradizionali per un'applicazione nella categoria del largo consumo.

2.3 Modello di business

2.3.1 Value proposition

Le imprese tendono ad inquadrare la soddisfazione di un bisogno precedentemente identificato attraverso la collocazione di un prodotto tra i consumatori in una logica di ottimizzazione della gestione del prodotto stesso durante il suo ciclo di vita. Più che con l'attività di vendita si cerca di creare valore seguendo la logica della fornitura di un servizio attraverso il prodotto

in ottica *Product Service System*, “un sistema di prodotti, servizi, infrastruttura e network di supporto progettato per essere competitivo, soddisfare il cliente ed avere un più basso impatto ambientale rispetto ad un modello di business tradizionale” (Williams, 2005).

Nel modello è centrale l’attenzione alla soddisfazione del cliente e alla creazione di valore, tenendo presente che questi risultati non si ottengono solo attraverso lo sviluppo tecnologico ma anche enfatizzando il contributo di *intangible assets* come proprietà intellettuale, immagine, marca, design o stile. Questi elementi, infatti, aiutano l’impresa a differenziare i propri prodotti rispetto alla concorrenza, migliorando il grado di «*customizzazione*» dell’offerta e rafforzando la relazione tra fornitore e consumatore.

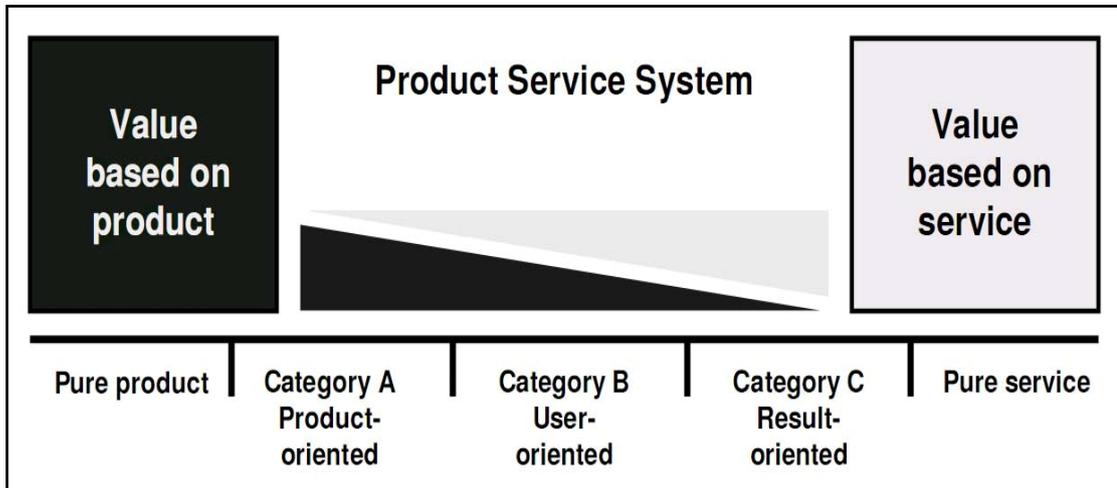


Figura 2-1: Il concetto prodotto-servizio.(Sundin, et al., 2008)

Si nota empiricamente una marcata tendenza all’affermarsi del modello PSS in molti settori, dove la relazione impresa consumatore può articolarsi secondo i tre approcci in Figura 2-1 (Behrend, et al., 2003):

- ✓ orientamento al prodotto, in cui la vendita al consumatore di un bene è associata a servizi addizionali come contratti di manutenzione ed accordi di riacquisto a fine vita che assicurino la funzionalità e la conservazione dello stesso;
- ✓ orientamento all’utente, dove il prodotto rimane centrale all’interno della relazione ma di proprietà di chi fornisce il

servizio, il quale lo fa entrare nella disponibilità del consumatore attraverso diverse forme contrattuali come il leasing;

- ✓ orientamento al risultato, dove fornitore e consumatore si accordano sulla somministrazione di un servizio senza specificare il prodotto attraverso il quale soddisfarlo.

Qualunque sia l'orientamento dell'impresa, la proposta di valore verte su una combinazione tra prodotto e servizio con pesi differenti. “L'orientamento al risultato, comunque, rappresenta l'accezione più popolare e l'interpretazione più sofisticata, nonché dalle maggiori potenzialità di un modello PSS” (Baines, et al., 2007).

La proposta di valore fatta al mercato insiste più su una prestazione che sul prodotto. A fronte di bassi sacrifici economici si ottengono benefici funzionali e psico-sociali. Un modello PSS enfatizza la de-materializzazione dell'offerta e la relazione con il consumatore. La visione competitiva dell'impresa si sposta verso una prospettiva di ciclo di vita che passa attraverso sviluppo e realizzazione del prodotto, fornitura del servizio, manutenzione, recupero o smaltimento finale (Lindahl, et al., 2006), in aggiunta s'insiste sulla co-creazione di valore con l'utilizzatore finale invitandolo ad una collaborazione sempre più stretta con il fornitore e passando da una logica di soddisfazione basata sulla proprietà del prodotto da parte del consumatore ad una basata sull'accesso per poter beneficiare delle funzioni assolate dallo stesso (Prahalad C. K., 2004).

Chi fornisce una combinazione prodotto/servizio ricorrendo alla pratica della rifabbricazione, accentua naturalmente l'attenzione sulla fase d'uso e sulla fine del ciclo di vita del prodotto con l'obiettivo di arrivare ad una riduzione dei costi. In questa prospettiva, infatti, molti delle leve di profitto di un business tradizionale, (es. fornitura dei ricambi e delle attività di manutenzione) si trasformano in costi aggiuntivi che l'impresa deve *internalizzare*. Considerando che un prodotto si prospetta dovrà affrontare

più cicli di vita, nelle analisi non si va a considerare solo il costo iniziale (su cui applicare il margine), ma quelli che sono i costi complessivi che gravano sullo stesso in tutta la sua vita utile, nonché i margini aggiuntivi che si potranno ottenere attraverso il riutilizzo. Strategia e politica dei prezzi in particolare andranno valutate secondo criteri di scelta intertemporale.

La relazione tra cliente e impresa è molto stretta. In un modello di business tradizionale i profitti dell'impresa derivano dai costi sostenuti dal cliente (es. esborsi per ottenere la proprietà del bene, per i ricambi ecc.). Il passaggio ad un modello PSS, invece, distribuisce benefici tra gli attori del sistema. Sia l'impresa che il consumatore, si assicurano benefici, prefigurandosi le condizioni per un gioco a somma positiva (*win-win*).¹⁷

2.3.2 Attori

Nel business della rifabbricazione possono essere impegnati OEM¹⁸, che operano sui propri ritorni, produttori indipendenti (meglio detti «terze parti»), che lavorano sui prodotti usati che riescono a raccogliere, ed imprese che lavorano su commessa, quando gli OEM decidono d'*esternalizzare* l'attività. Il produttore originario difficilmente riesce ad estendere il proprio controllo su tutta la catena del valore e ciò può creare le condizioni per l'entrata sul mercato in qualità di rifabbricatori delle terze parti. I prodotti vengono così rifabbricati da piccole imprese, più veloci nel cogliere le opportunità rispetto alle grandi. Quando, invece, è lo stesso OEM che sceglie di affidarsi a queste, come avviene nella componentistica auto, si creano relazioni su commessa.

Gli OEM stanno diventando sempre più consapevoli delle opportunità della rifabbricazione. Oltre ai potenziali profitti, bisogna considerare i

¹⁷ Ad esempio, il consumatore paga solo ciò che consuma, mentre l'impresa riduce il ricorso ai nuovi prodotti.

¹⁸ L'*Original Equipment Manufacturer* è l'impresa che utilizza nei propri prodotti componenti fabbricati da altri o che commercializza prodotti realizzati da altri con il proprio marchio. Ad esempio nel settore automobilistico la definizione di OEM può essere attribuita alle case automobilistiche (Fiat, GM, Ford ecc.), ma anche alle imprese che realizzano singoli componenti o accessori (Michelin, Bosh, NGK, Delphi ecc.). Si veda http://en.wikipedia.org/wiki/Original_equipment_manufacturer.

feedback sulle modalità di guasto e sulla durata dei prodotti, senza trascurare che il controllo del processo permette alle aziende di mantenere una buona reputazione sul marchio. Non sempre, però, i manager hanno avuto un atteggiamento positivo verso questo tipo d'attività e ciò è da ricondurre a diverse ragioni. In primo luogo i manager di stampo più tradizionale additano lo spauracchio della cannibalizzazione tra prodotti nuovi e rifabbricati (*"Cannibalism occurs when the sale of some of a firm's portfolio of products reduces the sale level of one or more products in the firm's portfolio of products"*) (Taylor, 1986). Da questo punto di vista l'OEM una volta avviata l'attività di rifabbricazione dovrebbe stimolare l'attenzione dei consumatori verso questa categoria di prodotti ma ciò con presumibile danno per nuovi.

Sebbene in letteratura la tematica della cannibalizzazione tra prodotti sia stata trattata sotto diverse sfaccettature, non esiste uno studio organico che riguardi la cannibalizzazione di nuovi prodotti a causa delle versioni rifabbricate. Comunque, l'opinione prevalente è che questa sia da ritenersi augurabile se permette di mantenere la propria quota di mercato (Chandy, et al., 1998). Si può ben capire, infatti, che l'indecisione di un OEM può rappresentare un'opportunità di business per terze parti indipendenti, ma anche per concorrenti diretti. Se Linton (2008) verifica per un'impresa una diminuzione della profittabilità, in termini relativi, a seguito dell'introduzione sul mercato di una versione rifabbricata da parte del produttore, in valore assoluto la tendenza non può dirsi sia così scontata.

Un aumento nella vendita di rifabbricati potrebbe essere accompagnato da un più basso decremento nella vendita di nuovi prodotti, poiché magari l'allargamento dell'offerta si è rivolto a clienti che non avrebbero mai acquistato questi ultimi, oppure perché questa mossa potrebbe rendere il business meno attrattivo per attori indipendenti con conseguente diminuzione dell'intensità competitiva. Esistono buone ragioni, quindi, per ritenere che forme di cannibalizzazione possano innalzare il livello complessivo delle vendite, soprattutto in due condizioni:

- ✓ il prodotto, se rivenduto ad un basso prezzo, potrebbe essere reimpiegato per usi alternativi;
- ✓ il prodotto potrebbe costituire una proposta rivolta a segmenti di mercato molto sensibili al prezzo.

L'importanza della partecipazione degli OEM al processo di rifabbricazione è data dal fatto che solitamente determina risvolti positivi sul tasso di ritorno e sulla qualità dei *core* (gli intermediari o terze parti impegnate nella raccolta potrebbero così trattenere solo quelli di qualità maggiore). Le terze parti, invece, pur non potendo beneficiare di economie di scala paragonabili a quelle degli OEM, compensano questa debolezza con un'ampia libertà di manovra sia dal punto di vista strategico (si pensi al solo fatto che il rifabbricatore indipendente può trattare *core* con marchi differenti, mentre l'OEM può occuparsi solo dei propri ritorni) che tecnologico.

Il ricorso all'*outsourcing*, con l'entrata in scena di attori che lavorano su commessa, può rappresentare un fattore di complicazione dello scenario, anziché semplificare le scelte. Toffel (2004), infatti, ravvisa un *trade-off* tra la scelta gerarchica e quella di mercato. In accordo con questo autore, un OEM dovrebbe considerare un'integrazione verticale (o anche una joint venture), invece di fare affidamento ad aziende esterne, quando può far leva su risorse di *tacit knowledge* ed informazioni riservate acquisite durante la progettazione, l'ingegnerizzazione e la produzione del prodotto. Inoltre, tale scelta va senza dubbio fatta nei casi in cui c'è il rischio di diventare dipendenti dalle terze parti che recuperano componenti divenuti rari. I subfornitori, infatti, si trovano in una posizione privilegiata, poiché si assicurano l'assistenza dell'OEM in termini di ricambi, accesso a *tool* e specifiche dei prodotti, coprendosi al contempo dal rischio della mancanza dei *core*.

Tra gli attori del business, quindi, può svilupparsi secondo i casi un rapporto di tipo competitivo o collaborativo. La competizione può riguardare sia il mercato finale che la fase di approvvigionamento dei *core*. Per tale

motivo non mancano le azioni volte a scoraggiare i nuovi entranti. Si va dalle restrizioni legali, in cui si vieta a terzi di rifabbricare i propri prodotti, a restrizioni di carattere tecnologico o economico, come codici criptati conosciuti solo dai produttori, da inserire per il riutilizzo o proibitive tariffe di *relicensing* sui software, allo scopo di scoraggiare o almeno rendere più costoso il processo. A titolo di esempio, Lexmark all'atto di avviare un programma di recupero di toner e cartucce ha diffidato i rifabbricatori locali a continuare ad usare propri prodotti usati come input. Nel settore dell'*information technology* aziende come Sun Microsystem e Cisco utilizzano politiche di non trasferibilità dei software, fondate su alti costi di *relicensing* per ostacolare la rifabbricazione dei propri prodotti ad opera di produttori indipendenti, cercando di contrastare lo sviluppo di un mercato secondario. La tendenza attuale vede, comunque, un atteggiamento positivo verso questo tipo d'attività.

In ambito di collaborazione la relazione può riguardare lavoro su commessa o pratiche di piena esternalizzazione. In alcuni casi può passare attraverso la pratica del *de-branding*, ovvero l'OEM impone che i propri prodotti, che entrano in un mercato secondario principalmente tramite terze parti, abbiano un look diverso, in particolare venga tolto il marchio originale. Tale operazione, comunque, richiede lavoro aggiuntivo e potrebbe rivelarsi costosa (Neira, et al., 2006). Si possono riscontrare anche casi di *coopetition*, quando un produttore indipendente si accorda con un'altra impresa concorrente, oppure direttamente con l'OEM, per sviluppare delle collaborazioni specifiche, mantenendo una relazione competitiva in altri ambiti.

2.3.3 Sistema del valore

Il sistema del valore di un processo di rifabbricazione delineato in Figura 2-2, s'integra con quello di produzione tradizionale, condividendone gli stadi a monte per quanto attiene l'approvvigionamento e quelli a valle per

la distribuzione. Sia che a cimentarsi sia un OEM che un produttore indipendente, esistono poche differenze poiché l'orientamento attuale per i produttori originali è di far lavorare separatamente gli impianti di fabbricazione e rifabbricazione, privilegiando il sistema ibrido a quello completamente integrato per via delle peculiarità e dell'incertezza che caratterizza il processo di rifabbricazione. Tendenzialmente vanno a configurarsi due network distinti.

Quello che contraddistingue la *value configuration* di un rifabbricato rispetto ad un prodotto ex novo, riguarda la creazione di un sistema di logistica inversa che si affianca a quello di logistica diretta per assicurare il ritorno dei prodotti a fine vita, che faranno da input nel processo di rifabbricazione. A livello di network, quindi, si può notare un ulteriore allungamento della filiera. Nel modello non si può più parlare di collocazione finale del prodotto, ma piuttosto di uno stadio d'uso da parte del consumatore, cui seguirà, una volta esaurita l'utilità relativa, quello della raccolta che chiude il ciclo.

Il modello di creazione di valore integra al suo interno il cliente finale quale attore di consumo, ma anche come potenziale fornitore di prodotti da trattare. Il cliente diventa un nodo nel sistema e dal suo comportamento dipende l'efficacia della logistica inversa. Se il consumatore non riconsegna il prodotto a fine vita, manca la materia prima su cui operare la rifabbricazione. Il sistema di logistica inversa crea flussi fisici di prodotti, ma anche flussi intangibili d'informazione. Chi governa la configurazione, quindi, scommette sull'atteggiamento collaborativo di quest'ultimo, si adopera per formulare specifiche politiche per incentivarlo, punta su un network che permette di risparmiare risorse nei processi e spalmare costi fissi su più cicli d'uso, mentre ai ritorni fisici affianca i *feedback* sui prodotti collocati e sull'evoluzione del mercato.

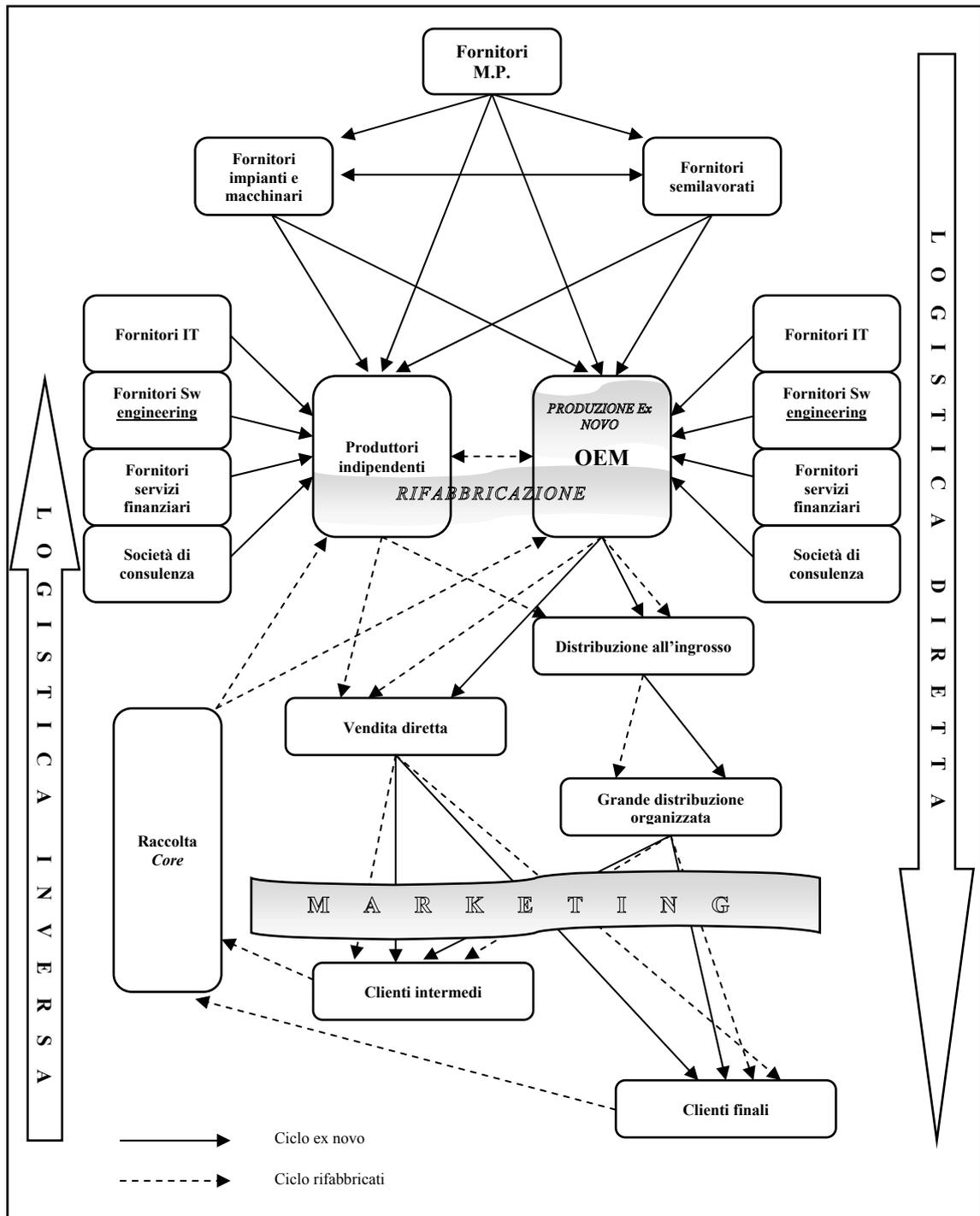


Figura 2-2: Sistema del valore per il business della rifabbricazione.

Sulla base del sistema del valore delineato si possono identificare diverse categorie di stakeholder (Figura 2-3):

- ✓ il cliente finale, che può beneficiare di un prodotto con caratteristiche pari al nuovo, a prezzo generalmente contenuto

ed *environment friendly*;

- ✓ i clienti intermedi, imprese che usano prodotti rifabbricati, che possono migliorare l'economicità della gestione;
- ✓ gli OEM, che possono integrare i processi rifabbricazione e re-marketing nella visione strategica per questioni economiche e di politica aziendale (es. immagine, *feedback*, post vendita ecc.). GE è un esempio simbolo delle opportunità di incorporare la rifabbricazione nella visione strategica;
- ✓ i produttori di macchinari specialistici usati nel processo di rifabbricazione;
- ✓ i fornitori di *Information Technology*, che dovrebbero approntare apposite infrastrutture a supporto del processo manifatturiero e della logistica inversa;
- ✓ i consulenti esterni, che sono chiamati a fornire l'esperienza per integrare la rifabbricazione nei normali processi produttivi;
- ✓ i fornitori di software ingegneristico che dovrebbero sviluppare appositi *tool* per la simulazione e la gestione della durata, riusabilità, nonché delle sequenze di assemblaggio, trattamento e scomposizione del prodotto;
- ✓ i distributori, veicolo per presentare la proposta a mercato ed eventualmente recuperare la «materia prima» del ciclo produttivo;
- ✓ le imprese responsabili dei servizi di logistica per approntare un sistema inverso volto ad assicurare la raccolta dei «fine vita»;
- ✓ le società finanziarie chiamate ad assicurare i servizi necessari per l'avvio e la gestione del business;
- ✓ i dipendenti di tutte le imprese coinvolte nel ciclo;
- ✓ gli azionisti e gli altri stakeholder delle imprese coinvolte i quali beneficiano in vario modo dei ritorni assicurati dall'innovativa proposta di valore.

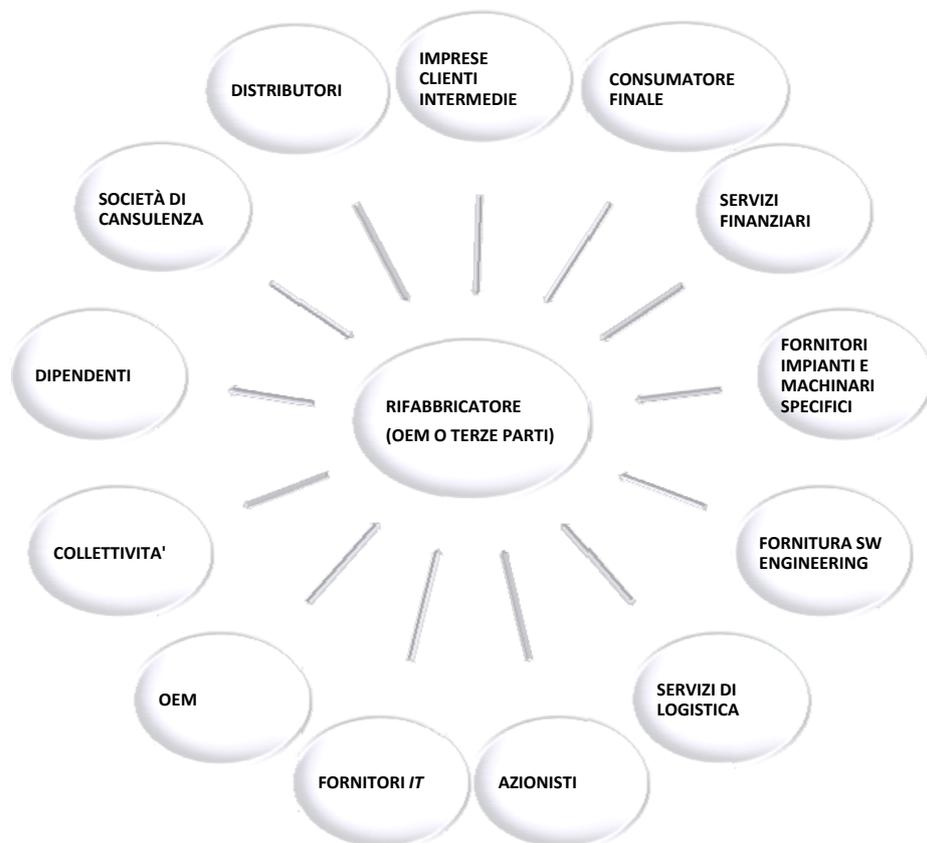


Figura 2-3: Stakeholders nel business della rifabbricazione

2.3.4 Relazione col cliente.

Il comportamento del consumatore è particolarmente complesso da analizzare se rapportato al business della rifabbricazione, poiché questi ricopre due potenziali ruoli:

- ✓ acquirente di un prodotto (nuovo o rifabbricato);
- ✓ fornitore di *core*.

Secondo un approccio di tipo microeconomico le preferenze di un consumatore possono essere analizzate attraverso la sua “Propensione a Pagare” (*WtP*: Willingness to Pay), il massimo prezzo che si è disposti a pagare per un bene. L’assunzione di base considera che un soggetto, messo di fronte ad una serie di opzioni, scelga quella che gli assicura la maggiore utilità. Questo implica che i consumatori si muovano in modo razionale e

siano in grado di attribuire un valore ad ogni opzione. La *WtP* può essere misurata attraverso questionari, giochi, meccanismi d'asta ecc.. Camacho *et al.* (2002) hanno studiato la propensione a pagare per un prodotto ecologico, un tavolo, con l'ausilio di sondaggi ed esperimenti economici. Il caso illustra con esperimenti economici come le azioni reali portano conseguenze finanziarie. I valori di *WtP* emersi risultano più attendibili rispetto a quelli di un sondaggio sicuramente più astratto.¹⁹

I dati emersi dallo studio evidenziano una propensione a pagare verso i prodotti ecologici, seppure più bassa di quella dichiarata dal medesimo soggetto nel sondaggio. All'atto di compiere l'offerta una parte dei propositi ecologici del cliente vengono, quindi, meno. Un aspetto interessante è che i partecipanti si sono detti disposti a pagare per uno sviluppo del prodotto in senso ecologico, ma tale propensione non è in relazione con l'ampiezza del miglioramento apportato. Ciò ha importanti implicazioni nelle strategie aziendali, poiché l'impresa potrebbe beneficiare di un incremento del *WtP* del consumatore migliorando solo marginalmente la performance ambientale. Molto dipende, quindi, più che dalle effettive prestazioni, dalla politica di marketing adottata. Inutile dire che ci si trova di fronte ad una situazione che potrebbe prestarsi ad abusi, in cui si rivelano importanti le questioni di forma rispetto a quelle di sostanza.

Un indice per monitorare il comportamento del consumatore come fornitore di prodotti che hanno esaurito il ciclo di vita può essere la "Propensione a Ricevere" (*WtR: Willingness to Receive*), il minimo prezzo al quale un soggetto è disposto a cedere il bene per alimentare il programma di logistica inversa. In questa situazione il cliente può essere considerato come

¹⁹ Lo studio è stato strutturato in due fasi. In un primo momento è stato chiesto ad ogni soggetto del campione di descrivere in un questionario la sua ipotetica propensione a pagare per un prodotto ecologico. In un secondo momento lo stesso è stato invitato in laboratorio, dove gli sono stati offerti due tavoli che differivano l'uno dall'altro solo per l'impatto ambientale. Il tavolo considerato ecologico era stato realizzato per poter essere completamente smontato a fine vita in vista di un riuso o di un riciclo. La simulazione è stata aperta con una presentazione in cui si enfatizzava l'importanza del riciclo ed i benefici sull'ambiente di una riduzione di rifiuti solidi. Su questa base il soggetto doveva prendere una reale decisione d'acquisto. I risultati sono stati ponderati statisticamente per verificare se le differenze nella propensione a pagare tra i due prodotti fossero reali o da ricondurre alla naturale variabilità del processo.

un fornitore e va così incentivato alla riconsegna con apposite politiche (es. prezzi di riacquisto, leasing, operazioni di *buy back* ecc.).

Il WtR è influenzato dallo scambio d'informazioni tra le parti. A parità di altre condizioni, ci si può attendere un alto WtR se l'impresa organizza un sistema di raccolta dei prodotti a fine vita efficiente, poiché questo può venire interpretato dai clienti come la dimostrazione dell'interesse dell'impresa verso il prodotto. Viceversa si abbassa notevolmente se la raccolta viene condotta da un'organizzazione no profit, visto che subentrano scopi filantropici. Sono rilevanti i contratti che legano impresa e consumatore; un conto è trovarsi di fronte ad una vendita, dove competerà all'impresa spingere il consumatore alla riconsegna, diverso è il caso di un leasing che assicura il ritorno al netto dei presumibili riscatti. Conta, poi, come il consumatore percepisce il valore del bene usato. La rifabbricazione è incentrata nel preservare il valore aggiunto, ma in molti casi il consumatore non ne è consapevole (Michaud, et al., 2006).

L'informazione assume, quindi, un ruolo cruciale nell'influenzare il comportamento del cliente. Sfortunatamente nel caso non esiste uno studio sistematico sull'argomento. Prendendo spunto da Camacho *et al.* (2002), si possono fare delle considerazioni sulla relazione tra cliente ed impresa incentrata su un prodotto rifabbricato. L'informazione ha un ruolo determinante. Non è casuale che l'ostacolo più difficile in questo business sia stato ed è ancora in molti casi superare i pregiudizi del mercato verso questa categoria di prodotti. Un prodotto rifabbricato è per definizione non nuovo. Per molti diviene spontaneo associare a questo un giudizio di bassa qualità.

Ciò significa un basso WtP, che però può essere amplificato lavorando sulla comunicazione. Bisogna considerare il fatto che, sebbene la legislazione europea sia orientata alla massima trasparenza per favorire l'acquisto informato, in molti Paesi, in particolare quelli in via di sviluppo, non esiste l'obbligo di comunicare al consumatore lo status del prodotto. In questi casi l'impresa potrebbe essere tentata di sfruttare a proprio vantaggio l'asimmetria

informativa, tacendone la natura. All'opposto una campagna informativa con enfasi sulla proposta di valore, vale a dire bassi sacrifici economici per ottenere il prodotto, in cambio di alti ritorni per i consumatori sia in termini funzionali (le prestazioni sono le medesime dei nuovi prodotti) che psicosociali (si pensi alla valenza dei benefici ambientali per soggetti ecologicamente sensibili). In molti casi il risultato è stato quello di superare la diffidenza del mercato, soprattutto se essa parte da un'adeguata definizione del profilo del cliente target, di modo da rivolgerla a soggetti potenzialmente interessati.²⁰

2.3.5 Mercato di riferimento

Il mercato potenziale è costituito da consumatori finali e da imprese. I driver che possono accendere l'interesse verso un prodotto rifabbricato in luogo di uno nuovo sono il prezzo, la sensibilità ambientale o, nel caso di beni durevoli, caratteristiche del prodotto che sconsigliano o non permettono l'accesso al nuovo.²¹ Guardando in particolare il consumatore finale, in un mercato segmentato verticalmente, usando come variabili prezzo e qualità, un'impresa può scegliere di servire due target di clienti differenti con lo stesso prodotto.

Su una stessa retta di isovalore, si possono individuare così il «mercato primario» ed il «mercato secondario». Le offerte saranno equivalenti in termini relativi, ma diverse in termini assoluti. Il mercato primario è quello della fascia medio-alta, in cui la proposta di valore riguarda i prodotti qualitativamente migliori venduti ad un prezzo alto. Il mercato secondario, invece, occupa la parte medio-bassa dello spazio, in cui si trovano prodotti di qualità inferiore venduti ad un prezzo più basso.

La qualità del prodotto non riguarda solo aspetti di carattere

²⁰ Esempi potrebbero essere le campagne di Xerox per quanto riguarda gli accessori per ufficio, oppure l'affermarsi dei rifabbricati come pezzi di ricambio nel settore automobilistico.

²¹ È questo il caso, ad esempio, dei motori di automobili di vecchia immatricolazione, componenti di macchinari industriali o di attrezzature militari, che non sarebbe conveniente tenere in produzione per tempi molto lunghi.

funzionale, ma attiene anche ad altri come l'immagine e le relative percezioni da parte del cliente. Infatti, molti prodotti rifabbricati sono venduti ad un prezzo inferiore rispetto ai nuovi, pur avendo caratteristiche sostanzialmente simili, per via della percezione da parte del consumatore, il quale è naturalmente portato ad associare il concetto di rifabbricato con quello di usato. I due concetti, quindi, nascono e rimangono strettamente connessi alla filosofia del recupero del prodotto e non solo con lo specifico processo di rifabbricazione.

Alcune aziende, ad esempio, potrebbero vendere prodotti nuovi ad un certo prezzo e prodotti rifabbricati (ma anche *as-is* o in seguito a riparazione/messa a nuovo) ad un prezzo inferiore. Per queste aziende, quindi, il mercato primario sarà quello dei prodotti nuovi e il mercato secondario sarà relativo ai prodotti rifabbricati. Altre, invece, potrebbero vendere i prodotti rifabbricati come nuovi nel mercato primario ed, inoltre, vendere alcuni prodotti restituiti *as is* nel mercato primario. La tipologia di prodotti (nuovi, rifabbricati, rimessi a nuovo) venduta nel mercato primario dipende, quindi, dalla specifica realtà in esame. Mercato primario e secondario sono generalmente separati da un punto di vista geografico, ma ciò non è sempre vero in quanto potrebbero in alcuni casi anche sovrapporsi. È questo il caso delle offerte dirette ai consumatori ecologicamente sensibili, guidati dall'impatto ambientale delle decisioni d'acquisto, alle fasce sociali di meno abbienti più sensibili al prezzo o in generale a fruitori di prodotti con elasticità rispetto al prezzo molto elevata (es. i consumabili per ufficio).

Bisogna dire, comunque, che in queste valutazioni intervengono anche aspetti, come le caratteristiche del prodotto, il suo valore intrinseco, la politica di *brand*, caratteristiche del mercato target o la propensione all'obsolescenza tecnologica. Ad esempio, i due mercati, che tendono ad essere separati nel caso dei telefoni cellulari, si sovrappongono, invece, quando si parla di componentistica auto o macchinari industriali. I concetti di mercato primario e secondario si collegano alle molteplici possibilità di

recupero ed ai differenti prezzi, ai quali possono essere venduti i prodotti recuperati.

Lo sviluppo dei mercati secondari, soprattutto per le AEE, è fortemente legato alla crescita della domanda di tali prodotti nei Paesi in via di sviluppo. Si può comprendere come sia sicuramente questo mercato il più attrattivo per le imprese. In aree come l'America Latina o l'Africa Equatoriale, infatti, la domanda di tali tipologie di prodotti cresce con tassi a due zeri. Un esempio significativo è quello della Nigeria che dal 2000 al 2006 ha visto aumentare le linee di telefonia mobile attive da uno a circa 25 milioni. Poiché la ricchezza media della popolazione non è elevata, una quota significativa di questa domanda, è stata soddisfatta con telefonini ed accessori usati (210.000 telefonini usati importati nel solo 2005) o rifabbricati importati dai Paesi più sviluppati.

In Nigeria c'è un alto tasso di riparazione e riuso dei telefoni cellulari. Ciò estende la vita dei cellulari a circa 7 anni rispetto ai circa 18 mesi dell'area occidentale. Un ulteriore aspetto che favorisce il ricorso al prodotto rifabbricato è l'elevata disponibilità di input, soprattutto nei Paesi sviluppati che assumono il ruolo di mercato di fornitura. Oltre alla Nigeria e ad altri Paesi dell'Africa, una domanda significativa proviene anche dai Paesi dell'America del Sud e dell'Asia, in particolare da Brasile e Cina. È stato valutato che la domanda per cellulari di seconda mano è ancora più alta della disponibilità di tali prodotti (Osibanjo, et al., 2008).

Nelle economie emergenti non si vendono prodotti di ultima generazione per via del loro alto prezzo di lancio. L'alternativa è, quindi, andare sul mercato con tecnologie non più all'avanguardia, i cui costi di sviluppo siano già stati ammortizzati, oppure approntare delle *value propositions*, che facciano leva sulla ritenzione del valore aggiunto. In questo caso si andranno ad offrire al consumatore prodotti di seconda mano, già utilizzati sui mercati occidentali, sottoposti a processi di messa a nuovo o rifabbricazione, ma anche di semplice rivendita *as is*, secondo le condizioni

proprie del ritorno. Il vantaggio di questa politica sta nella possibilità di godere dei benefici economici e strategici propri di prodotti che non hanno disperso il loro valore aggiunto e che, se gestiti in modo corretto, configurano un business profittevole.

Una delle principali aziende che opera in questo settore è l'americana ReCellular Inc.. Tale azienda, si procura telefonini usati nel mercato americano e poi li rivende nell'America del Sud o in Africa. ReCellular considera due alternative per i prodotti usati che acquisisce nel mercato americano; o li rivende direttamente o li rifabbrica per poi rivenderli ad un prezzo maggiore. Come emerge da recenti studi, la rifabbricazione rispetto alle altre opzioni di recupero avvia un gioco a somma positiva tra le parti, migliorando il risultato complessivo della transazione per le stesse.

Offrire sul mercato un prodotto rifabbricato permette di incrementare l'utilità percepita dal consumatore, la cui propensione a pagare per prodotti con condizioni pari al nuovo rispetto a quelli di seconda mano dovrebbe tendenzialmente aumentare, mentre dall'altra parte il produttore potrà aumentare i propri profitti facendo leva su prodotti divenuti attrattivi a seguito di opportune trasformazioni, i cui prezzi potranno essere rivisti al rialzo. Si possono rilevare, quindi, degli effetti sia sul livello di prezzo che su quello della domanda (Robotis, et al., 2005).

L'importanza per le aziende dei mercati secondari è testimoniata, poi, dal fatto che spesso un prodotto che non ha più domanda nel mercato primario conserva ancora una certa appetibilità in quelli secondari. È questo il caso delle tecnologie non più all'avanguardia. Per i cellulari, ad esempio, il mercato secondario cannibalizza meno del'1% delle vendite del prodotto nuovo (Neira, et al., 2006). Un'ulteriore tipologia di mercato secondario è quella relativa ai componenti. Un esempio di tale tipo di mercato è quello dei *chip* dei computer, i quali potrebbero avere un uso alternativo in apparecchiature più semplici da un punto di vista tecnologico tipo i giocattoli (Geyer, et al., 2003).

2.3.6 Analisi SWOT

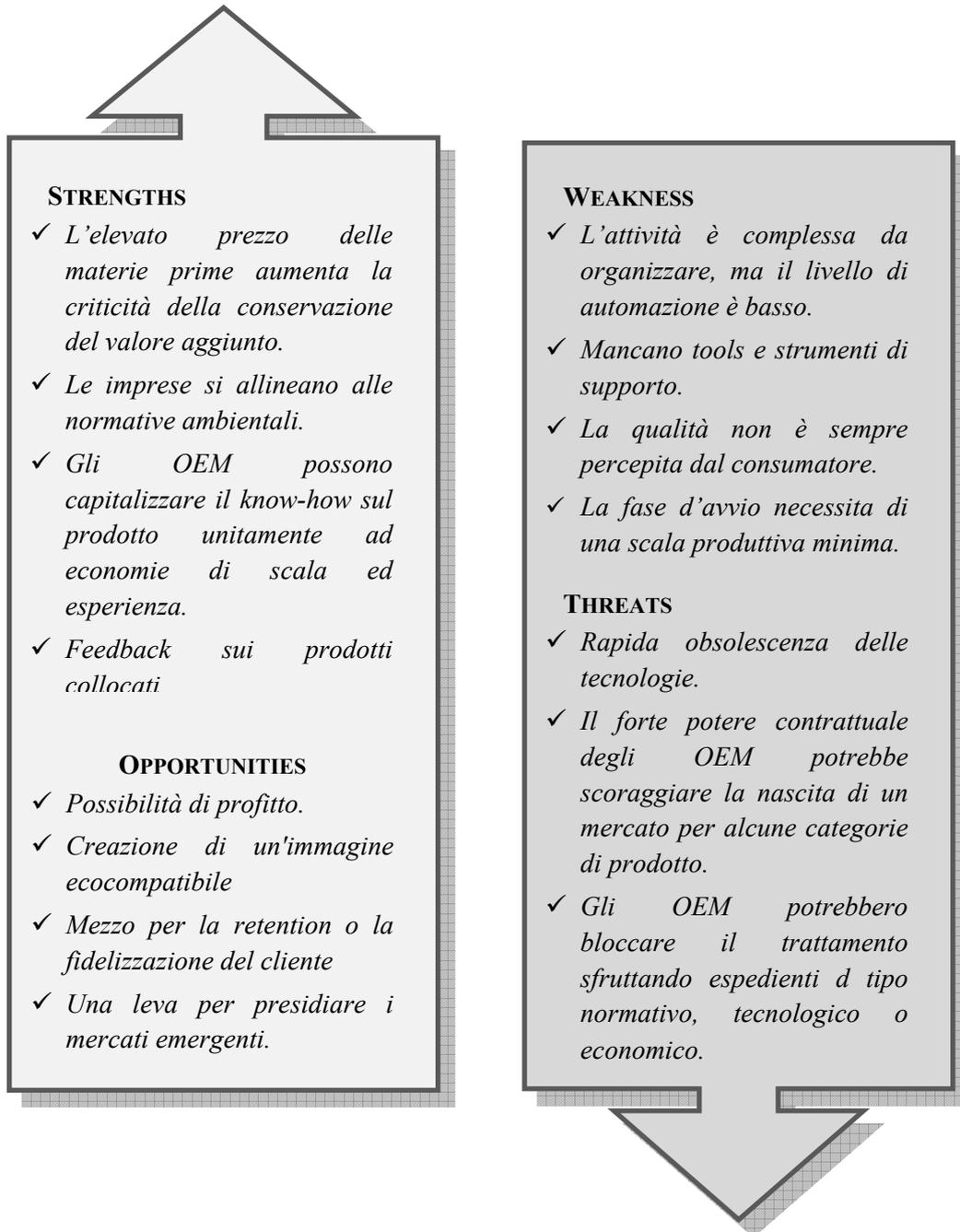


Figura 2-4: SWOT analysis.

2.4 Benefici della rifabbricazione

2.4.1 Ritorni ambientali

Un processo di rifabbricazione può permettere un recupero superiore di risorse rispetto ad altre forme di riuso. Secondo l'*Energy Systems Division of Argonne National Laboratory*, attraverso questo tipo di attività si può arrivare a risparmiare l'equivalente di $422 \cdot 10^{21}$ J di energia all'anno. Quest'energia in condizioni di produzione tradizionali sarebbe utilizzata per la realizzazione di nuove componenti, mentre con la rifabbricazione se ne risparmia circa l'80%.²²

Se pensiamo al combustibile fossile da usare come fonte di energia, al risparmio energetico, si associano minori emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera per 800.000t. Questa pratica può, quindi, contribuire nella lotta contro il riscaldamento globale grazie alla riduzione delle emissioni di gas serra. Il risparmio si ottiene riutilizzando i componenti senza produrne di nuovi. Tra le 4R, le opzioni di recupero del prodotto a fine vita, la rifabbricazione ha risvolti positivi sia sull'energia che sui materiali.

I prodotti rifabbricati sono tenuti fuori dal ciclo dei rifiuti per lungo tempo, preservando spazio nelle discariche. In un'accezione molto estesa della rifabbricazione, dove tutto viene recuperato, si potrebbe creare un ciclo chiuso di gestione dei prodotti/rifiuti che elimini il conferimento in discarica quale opzione ultima. Naturalmente questa è una visione di lungo periodo, incentrata al pieno sviluppo sostenibile.

La rifabbricazione agisce positivamente sui livelli d'inquinamento atmosferico, visto che i prodotti in altre situazioni di recupero sarebbero dovuto essere nuovamente fusi e ritrattati come in un processo di fabbricazione. In uno studio del *Chartered Institute of Environmental Health*

²² Per dare un'idea di ciò di cui si sta parlando, l'energia equivale a quella prodotta da cinque impianti nucleari o contenuta in tanto gasolio quanto quello necessario per alimentare sei milioni di automobili. Se si pensa negli USA nel 2007 si accreditava una flotta circolante di 200mln di unità tra automobili e veicoli leggeri, possiamo concludere di avere quanto basta per alimentare ogni anno il 3% del parco automobilistico.

(CIEH) si può leggere che processi industriali per il trattamento dei metalli, richiedono miscele di oli e solventi che liberano polveri sottili nell'atmosfera nell'ordine dei 2.5μ o meno (PM2.5s). In molti casi queste particelle sono state addotte come motivo di malattie respiratorie a causa della loro capacità di penetrare in profondità nei polmoni. Gli esperti dicono che durante gli ultimi dieci anni le PM2.5s sono cresciute vertiginosamente.

I rifiuti elettronici nello specifico possono provocare gravi danni alla salute, visto che contengono un ampio spettro di sostanze pericolose come piombo, cadmio, cromo o mercurio. I pericoli per la salute connessi con l'improprio controllo e smaltimento di queste sostanze tossiche sono significativi, se non letali. Per queste ragioni la legislazione europea in materia è stata migliorata più volte con diverse direttive volte ad assicurare una corretta gestione dei prodotti potenzialmente pericolosi prima, durante ed a fine vita.

L'obiettivo è quello di allungare la vita utile dei prodotti attraverso interventi di diverso genere, di modo da creare un ciclo chiuso o almeno prevalentemente chiuso di gestione del prodotto che consenta di ridurre le quantità destinate allo smaltimento. Da un punto di vista ambientale è, comunque, importante verificare l'opportunità di prolungare la vita di un prodotto, soprattutto se potenzialmente obsoleto o inquinante. Bisogna considerare, infatti, che l'impatto di molti prodotti è più marcato nella fase d'uso che non in quella di smaltimento (Bras, et al., 1996).

Ovviamente quest'impianto normativo, seppur ben congegnato, non è esente da lacune, visto che anche le buone intenzioni possono portare a dei disastri. È questo il caso dei televisori a tubo catodico (CRT), i quali contengono ingenti quantitativi di piombo (Halluite, et al., 2005). L'applicazione a questo prodotto rappresenta una tipica controindicazione delle norme sul recupero dei prodotti. In particolare ci si rifà al caso americano dove la legislazione in materia è demandata ai singoli Stati Confederati, i quali, preoccupati prevalentemente degli effetti sull'aria e

sull'acqua dell'entrata in discarica dei CRT, ha approntato norme che vietano questo tipo di operazione. Uno dopo l'altro, rifacendosi a potenziali problemi d'inquinamento California, Florida, Massachusetts e Minnesota tra il 1998 ed il 2003 hanno bandito i CRT dalle discariche scegliendo la via del recupero dei prodotti oppure, in alternativa, dello stoccaggio provvisorio in attesa che si chiarisca meglio lo stato giuridico delle sostanze e si metta a punto un sistema di riciclo efficiente a costi ragionevoli.

Alternativa allo smaltimento è sicuramente il recupero del prodotto mediante rifabbricazione, ma qui un ulteriore fattore di complicazione è l'alto grado di obsolescenza del CRT ormai soppiantato dai pannelli LCD. Ci si trova, quindi, in una situazione in cui la domanda di CRT rifabbricati è tendenzialmente bassa, almeno sui mercati primari, così come è bassa, se non quasi zero, la domanda di piombo, visto che le restrizioni sulle sostanze pericolose hanno spinto le industrie dei Paesi occidentali ad abbandonare l'impiego di questa sostanza.

Il destino dei CRT sembra risiedere nella rifabbricazione destinata a mercati secondari, dove il costo dell'LCD rimane ancora proibitivo, continuando ad alimentare l'entrata del piombo nel ciclo di smaltimento dei rifiuti, una volta che i beni saranno diventati del tutto inservibili e fin quando la produzione non sarà del tutto cessata. Si calcola che ciò avverrà solo nei prossimi 45 anni (Linton, et al., 2002). Volendo, invece, togliere di mezzo completamente i CRT, non essendoci più domanda di piombo, la strada è quella dello stoccaggio provvisorio o meno della sostanza. Questa soluzione potrebbe essere facilmente associata con quanto fatto negli USA per le scorie nucleari mediante lo stoccaggio sulle montagne Yacca, allo «stoccaggio mobile» di ceneri pesanti da incenerimento sul cargo *Khian Sea* oppure alla megadiscarica di pneumatici di Hagerville in Ontario, tutti esempi di immani disastri ambientali. Questa situazione preoccupa non poco, visto che solo le scorie nucleari vengono considerate più difficili da smaltire del piombo.

Il precedente, sicuramente non l'unico, mette in evidenza che anche le

migliori intenzioni ambientali possono portare a normative per il ritrattamento dei beni di consumo controproducenti se non coordinate con quello dei materiali che possono essere risultanti dal processo. Questa mancanza unita al ruolo dirompente della tecnologia ha creato una situazione paradossale che ancora non trova soluzione.

2.4.2 Aspetti economici

Il recupero del prodotto può essere un business profittevole. In particolare, l'avvio di un processo di rifabbricazione può permettere una generale riduzione dei prezzi del 35%-40% rispetto ai nuovi prodotti, accompagnati da margini in media del 20%(Nasr, et al., 1998). Il riutilizzo dei cespiti da un lato permette di risparmiare sull'acquisto di materie prime ed energia, al netto del consumo per il processamento, dall'altro annulla i costi di smaltimento che il produttore dovrebbe per legge sostenere.

La riduzione dei costi è alla base dell'economicità e se condotta in modo adeguato può assicurare opportuni ritorni sull'investimento. Ciò a vantaggio della posizione competitiva dell'impresa, che potrà condividere i benefici con il consumatore finale. Affrontando la questione in una logica multi periodale le riduzioni di costo non si ripercuotono solo sul prodotto recuperato, ma anche sui beni di prima fabbricazione. La politica di prezzo, infatti, non può non tener conto che molti dei costi sostenuti durante il primo ciclo produttivo potranno essere ammortizzati anche su quelli successivi, non essendoci più una competenza esclusiva.

Spesso non si avviano programmi di recupero adducendo il timore di un effetto negativo sulle vendite di nuovi prodotti. Si tratta di una concezione dell'attività imprenditoriale in una logica *push*, secondo cui è l'impresa a fissare la domanda e non il consumatore a scegliere. Non si tiene conto del profilo del target, delle sue preferenze, dell'evoluzione della domanda e dell'intensità competitiva. In realtà nulla assicura che la condizione di massimo profitto passi per un prodotto necessariamente nuovo. Quando si

vendono prodotti recuperati, il consumatore può assumere una triplice funzione: acquirente di nuovi prodotti, acquirente di prodotti recuperati, fornitore di prodotti a fine vita. L'impresa può, quindi guadagnare dai nuovi prodotti e da quelli rifabbricati, senza contare il fatto che se i mercati di riferimento sono distinti non c'è alcun pericolo di sostituzione tra le domande.

Guardando ai risparmi sull'acquisto di materie prime permessi da un prodotto recuperato, si può notare che, in uno scenario caratterizzato da forti tensioni per quanto riguarda i prezzi di mercato di queste, che non sembrano destinati ad attenuarsi per via della frenetica crescita di alcuni Paesi in via di sviluppo, i costi diretti dei materiali stanno diventando una sempre più variabile rilevante con cui doversi confrontare al pari del costo del lavoro. Scarsità, prezzo ed efficienza nella gestione delle risorse sono collegate in virtù di un principio basilare della teoria economica. *“As valuable resources become scarcer and more expensive, companies managing their resources efficiently are likely to gain a competitive advantage”* (Michaud, et al., 2006). Perseguire strategie orientate a sfruttare il valore aggiunto del prodotto anziché dissiparlo con lo smaltimento, potrebbe in molti casi rivelarsi critico, ad esempio, al pari di una politica di delocalizzazione, nonché fonte di vantaggio competitivo. Da ciò si può dire che l'economicità di questo business è tanto più marcata quanto più è alto il peso delle materie prime sul costo pieno del prodotto.

Tra i benefici di un programma di rifabbricazione possiamo trovare il conseguimento di economie di scala e d'esperienza. L'aumento della dimensione produttiva permette di spalmare i costi fissi su un più alto volume di output prodotti riducendo l'incidenza unitaria.²³ Le economie d'esperienza, invece, data anche la loro continuità (non si tratta di un fenomeno puntuale ma esteso nel tempo) consentono di elevare l'efficienza

²³ Un esempio è rappresentato dal costo del terreno dove impiantare o il costo del management posto a capo di tale attività la cui incidenza si diluirebbe aumentando il volume di produzione o il numero di individui coordinati, secondo il *driver* di ripartizione prescelto.

generale del processo e di ottimizzare soprattutto l'utilizzo dei fattori variabili ed il tempo richiesto nelle singole operazioni.

I benefici possono, ad esempio, riguardare aspetti come la qualità del materiale recuperato, la riduzione degli scarti, il miglioramento nell'organizzazione dei processi. In questo caso entra in gioco la conoscenza tacita che si genera man mano che il processo fluisce senza soluzione di continuità. Più che il risultato finale diviene critico il modo in cui questa risorsa viene gestita dall'organizzazione per permetterne una fruizione e valorizzazione diffusa, attraverso le varie fasi di socializzazione, esternalizzazione, combinazione ed internalizzazione per arrivare alla creazione di conoscenza esplicita (Nonaka, et al., 1995).

Ferrer e Guide (2002) fanno notare che motivi etici ed ambientali da soli non bastano a giustificare l'avvio di una strategia di rifabbricazione. Ogni impresa effettua investimenti per fare profitti. Per raggiungere questo scopo si focalizza sulle attività *core* e tende ad esternalizzare le altre. Logiche di produzione eco-compatibile e principi di CSR (*Corporate Social Responsibility*), seguono questa strada. Ogni decisione, quindi, viene ponderata sulla base di un'analisi tra costi e ricavi. Lo stesso strumento normativo, che in molti casi è stato agitato con le migliori intenzioni ambientali, ha finito col fallire in quei casi in cui non c'è convenienza economica al recupero. In alcuni casi la regolamentazione ha finito con l'amplificare gli effetti di una tradizionale politica di smaltimento.

Negli USA il business del recupero dei prodotti e, della rifabbricazione, non si è sviluppato solo per ragioni di regolamentazione politica o coscienza ambientale. Gli obblighi legislativi, i sussidi elargiti, quanto le tasse approntate per cercare di dare un indirizzo al problema, non sono stati le determinanti fondamentali per la nascita di quest'industria e la testimonianza ne è il fatto che il business era già affermato in diversi settori ben prima che venissero alla luce concetti come l'EPR o la *Product Stewardship*. La determinante imprescindibile è l'autonoma profittabilità del

business, al di là di aspetti di carattere ambientale o fiscale.

A dimostrazione di quanto sia rilevante la pura variabile profitto in un'ottica di recupero del prodotto possono essere fatte alcune considerazioni. Secondo i dati dell'EPA (l'ente statunitense per la protezione dell'ambiente) i soli consumatori statunitensi buttano via milioni di tonnellate di dispositivi elettronici ogni anno. Quando i consumatori più responsabili si preoccupano di non gettarli nella spazzatura, ma di farli ritirare per una migliore gestione ambientale, non c'è garanzia di raggiungere l'obiettivo desiderato, come testimoniano montagne di *e-waste* accumulate in discariche improvvisate nei Paesi con leggi ambientali meno severe, bruciate grossolanamente o fatte a pezzi a mano da persone incaricate di recuperare i componenti utili, senza nessuna considerazione per gli effetti sulla salute di tale operazione.

Lo smaltimento nei Paesi in via di sviluppo è una pratica che i produttori conducono illegalmente, aggirando le disposizioni legislative vigenti. Bisogna, comunque, evidenziare che il crudo intervento legislativo sebbene animato dalle migliori intenzioni nei Paesi Occidentali, ha trasformato grandi aree dell'Africa e dell'Asia in discariche o inceneritori a cielo aperto. Emblematici sono i casi del Ghana, dell'area di Lagos in Nigeria o del Guiyu in Cina (Brigden, et al., 2008).

2.4.3 Motivazioni di politica aziendale

Gli aspetti che riguardano la politica e la strategia aziendale, seppur non riconducibili ad immediate finalità di lucro, sono particolarmente importanti per gli OEM. In questo insieme rientrano la connotazione del *brand*, l'immagine aziendale, il presidio dell'*aftermarket*, il *feedback* sui prodotti.

L'immagine è un fattore estremamente critico in un business di successo poiché si costruisce solo attraverso un'oculata politica di marketing ed ingenti investimenti diluiti nel tempo. Ciononostante può venire facilmente macchiata. I prodotti sottoposti a rifabbricazione, se non in linea con le aspettative del mercato potrebbero danneggiare sensibilmente il

rapporto tra consumatore e produttore OEM e ciò indipendentemente dal fatto che magari la rifabbricazione sia stata portata avanti da quest'ultimo o da un soggetto terzo. Per tale motivo è naturale per un OEM interessarsi al processo. La finalità può essere quella di tentare di stroncarlo sul nascere attraverso sistemi di *lock-out* per evitare che altri possano sfruttare il *brand* e magari provocare ritorni d'immagine indesiderati, oppure cercare di controllarlo in modo più o meno marcato, fino a gestirlo direttamente per monitorare gli effetti ed assicurarsi una quota dei profitti del business.²⁴

Questo per quanto attiene la protezione del *brand*. Da un altro punto di vista bisogna considerare i risvolti sulla costruzione di un *brand* forte. L'impresa che valorizza agli occhi dell'opinione pubblica la sua maggiore attenzione all'ambiente, garantita anche dalla rifabbricazione, mediante un'apposita strategia di marketing può creare un'immagine «*environment friendly*». Elemento fondamentale, affinché questo approccio eco-compatibile sia premiato dal mercato, è la sua corretta presentazione evidenziando l'impegno assunto dall'impresa e fornendo dati che ne esplicitino i benefici ottenibili da parte dei consumatori e di tutti gli stakeholder.

Le informazioni impiegate possono essere sostanzialmente di due tipi: connessi con il minore impatto ambientale del bene e/o inerenti alle sue performance. Queste due tipologie non sono tra loro mutualmente esclusive ma, anzi, è dalla loro sinergia che l'impresa può ottenere i migliori risultati in termini di ritorno di immagine. I primi, infatti, sono destinati ad evidenziare l'aspetto «naturalistico» quali il minor uso di risorse, la maggiore durata, il ridotto numero di parti che lo compongono, l'assenza di materiali dannosi per l'ambiente, nel processo e nel prodotto stesso. I secondi, invece, sono finalizzati a sottolineare le prestazioni che il consumatore può aspettarsi utilizzandolo come, ad esempio, maggiore precisione, accresciuta versatilità, modularità, possibilità di aggiornare il bene ecc.. Il tutto è finalizzato ad

²⁴ Un esempio è costituito dall'azienda svedese Tetra Pak che rifabbrica ed aggiorna sulla base delle ultime specifiche i macchinari per il rifornimento, di modo da mantenere un profilo innovativo e ridurre il rischio che l'operazione venga posta in essere da terze parti indipendenti con risultati di performance deludenti (Sundin, 2004).

influenzare giudizi e sensazioni del consumatore, amplificare la risonanza e a far percepire il valore potenziale della relazione (in questo caso eco-valore), prima che questi effettui la scelta, lavorando sugli aspetti a cui il segmento target è fortemente sensibile.

Per un OEM la raccolta di componenti e prodotti dai clienti permette di presidiare l'*aftermarket*, quella parte di mercato di accessori e componenti che permettono di preservare ed aggiornare un precedente acquisto. In molti casi questo mercato si rivela molto lucrativo ancor più di quello principale. Avviare attività di recupero, mediante la raccolta dei *fine vita* è un modo per preservare l'*aftermarket* dai concorrenti o da soggetti potenzialmente interessati.²⁵

La gestione della presa in consegna del prodotto rappresenta un'occasione per mantenere ed accrescere il valore della relazione con il cliente. La restituzione del prodotto rappresenta un momento di contatto con il cliente che può fungere da preludio a nuove relazioni. Di qui l'importanza di una politica orientata a valorizzare la circostanza, magari anche attraverso un sistema incentivante che motivi il cliente alla restituzione, in un'ottica di fidelizzazione. Si attua un modello di business del tipo «*System Lock-In, Competitor Lock-Out*» orientato al «*Restricted Access*». Ciò rappresenta un modo per limitare le occasioni di contatto tra il cliente ed i concorrenti, di modo da evitare che questi possa provare nuove esperienze di consumo, comparare le altre offerte e magari migrare verso queste. Si fa leva su aspetti complementari dell'offerta, sulle economie di sistema, considerando l'apparato che permette l'utilizzo multi periodale dei prodotti (Hax, et al., 2001).

Tralasciare quest'opzione, viceversa, significa non coprire uno spazio, rinunciare ad un'azione di *retention*, e, di rimando darlo alla concorrenza.

²⁵ In verità lo stesso risultato potrebbe essere ottenuto con soluzioni diametralmente opposte, realizzando prodotti con una configurazione che ne rende impossibile il riuso, almeno a terzi. Ad esempio, in alcune cartucce per stampanti viene inserito un codice che deve essere resettato ad ogni ricarica dall'OEM. L'efficacia di queste soluzioni però deve essere vagliata sul campo e caso per caso, poiché le azioni generano reazioni da parte della concorrenza e gli espedienti col tempo finiscono col'essere neutralizzati.

Chi entra in possesso del rifabbricato potrà proporre offerte alternative, che incidono sulla quota di mercato, componenti ed accessori che invece toccano l'*aftermarket*. Una testimonianza è rappresentata dalle dichiarazioni di un manager tedesco del settore auto: “ufficialmente un motore rifabbricato può essere acquistato solo se si riconsegna il *core*”. Ma se il cliente offre il *core* senza comprare il rifabbricato, noi tendiamo a comprarlo comunque, poiché diversamente potrebbe diventare «cibo» per i concorrenti” (Seitz, 2007).

La rifabbricazione può permettere di allargare l'ampiezza dell'offerta introducendo un'opzione a basso costo, per conquistare nuovi spazi. Questo potrebbe essere particolarmente importante in quei casi in cui l'ampiezza è di per sé limitata. “Una delle ragioni per cui rifabbrichiamo motori per automobili e veicoli commerciali leggeri è il fatto che noi vogliamo offrire motori rifabbricati al cliente come opzione d'acquisto aggiuntiva. Ciò per migliorare l'orientamento e la soddisfazione del cliente” (Seitz, 2007). Per prodotti caratterizzati da un lungo ciclo di vita questa potrebbe essere l'unica opzione per assicurare pezzi di ricambio per il cliente, visto che difficilmente le imprese assicurano la disponibilità dei nuovi al di là di certo periodo di tempo per ragioni di opportunità economica.

L'attività di rifabbricazione permette di monitorare costantemente i bisogni dei clienti e le condizioni della base consolidata dei prodotti. In base alle condizioni dei ritorni e dei comportamenti d'acquisto l'impresa può muoversi in modo proattivo. Si possono raccogliere informazioni volte ad evidenziare punti di forza e debolezza dei prodotti che successivamente potranno essere capitalizzate nella progettazione. In particolare i dati più critici sono quelli che riguardano il deterioramento durante l'utilizzo, visto che molte condizioni sono impossibili da simulare nella fase sperimentazione.

3

GESTIONE DI UNA SUPPLY CHAIN A CICLO CHIUSO

Nel capitolo 1 sono stati presentati i problemi che complicano la gestione di una generica supply chain a ciclo chiuso. Sebbene la pianificazione ed il controllo del processo di rifabbricazione nell'ambito di una catena inversa coinvolga una serie di attività comuni a diverse tipologie di prodotti, gli aspetti critici e gli obiettivi di tali attività possono molto spesso cambiare a secondo del contesto in esame. Di conseguenza l'approccio da usare per la gestione di un processo di recupero dei prodotti deve essere coerente con le caratteristiche del prodotto e del mercato di riferimento.

In questo capitolo, in analogia ai modelli di produzione tradizionale, sono caratterizzate tre strategie di rifabbricazione del prodotto: *ReManufacture-To-Stock* (RMTS), *ReAssemble-To-Order* (RATO), e *ReManufacture-To-Order* (RMTO). Sono esaminate, poi, le similitudini e le differenze tra le attività di pianificazione nei sistemi di rifabbricazione ed in quelli tradizionali. In particolare, attesa la criticità della pianificazione dei materiali recuperati nella pianificazione e controllo di un processo di rifabbricazione, vengono presentati alcuni approcci e modelli, presenti in letteratura, sulla pianificazione e controllo dei materiali recuperati (prodotti e componenti).

3.1 Caratteristiche di una supply chain a ciclo chiuso

Sebbene le problematiche delle svariate catene inverse siano comuni, la grandissima varietà di prodotti recuperati e rifabbricati, manifesta delle caratteristiche critiche, per le rispettive catene di raccolta, altrettanto variabili sotto svariati punti di vista (modalità di acquisizione dei prodotti, volumi, tempo e qualità dei ritorni, attività di controllo dei prodotti, vendita ecc.).

Partendo da questa considerazione e dall'analisi di tre esempi di prodotti rifabbricati, Guide et al. (2003) individuano, in analogia ai modelli di produzione tradizionale, tre contesti di rifabbricazione del prodotto: *ReManufacture-To-Stock* (RMTS), *ReAssemble-To-Order* (RATO), e *ReManufacture-To-Order* (RMTO). Dall'applicazione ai modelli di rifabbricazione della matrice prodotto-processo di Hayes e Wheelwright, sviluppata per i sistemi di produzione tradizionali, gli Autori forniscono delle linee guida per la gestione ed il controllo della produzione in virtù delle diverse strategie di posizionamento del prodotto recuperato.

Guide et al. (2003) individuano i seguenti parametri per confrontare le diverse tipologie di catene logistiche inverse e di conseguenza per caratterizzare i vari ambienti di rifabbricazione:

- Volume dei ritorni;
- Tempi dei ritorni;
- Qualità dei ritorni;
- Complessità del prodotto recuperato;
- Complessità dei test e delle ispezioni;
- Complessità della rifabbricazione.

È evidente la corrispondenza di tali misure con le caratteristiche complicanti proposte da Guide (2000).

3.1.1 Gli ambienti ReManufacture-To-Stock (RMTS)

I valori delle dimensioni chiave sopra elencate in una situazione di Remanufacture-To-Stock sono sintetizzati nella Tabella 3-1.

In tali ambienti il volume dei ritorni è alto, ma il timing di questi ritorni non è sotto il diretto controllo dell'azienda ed è per questo considerato incerto e trattato come una variabile aleatoria.

Tabella 3-1: Dimensioni chiave per la pianificazione in ambienti RMTS (Guide, et al., 2003)

Dimension	Remanufacture-to-Stock (RMTS)
Returns volume	High
Returns timing	Uncertain
Returns quality	Limited
Product complexity	Low to moderate
Test and evaluate complexity	Low to moderate
Remanufacturing complexity	Low to moderate

Tale situazione distingue l'ambiente RMTS dagli altri, nei quali attraverso ad esempio contratti di leasing o di assistenza, è possibile prevedere la schedulazione dei tempi di ritorno con minore incertezza.

I test sul prodotto sono piuttosto limitati e semplici (non sono utilizzate apparecchiature particolari), molto spesso si guarda semplicemente all'integrità fisica del prodotto restituito. La complessità dei prodotti (numero dei componenti) è bassa o moderata. Inoltre la complessità delle operazioni di rifabbricazione è davvero molto limitata in virtù di una progettazione del prodotto e delle parti orientata verso il riutilizzo o il riciclo come opzioni di fine vita.

Le suddette caratteristiche influiscono pesantemente sulle specificità di un efficace strumento di pianificazione della produzione. In particolare tale strumento dovrà fornire al management informazioni quali lead time dei ritorni, tasso di recupero dai prodotti, livelli di scorta di un determinato prodotto in una determinata fase (giacenza di *core*, materie prime, di parti e componenti e di prodotti finiti).

Si osservi che nei contesti RMTS una parte molto importante della supply chain è rappresentata dai prodotti in uso presso i clienti, dal momento che essi costituiscono la parte più consistente del magazzino di “materie prime” per il processo di rifabbricazione.

3.1.2 Gli ambienti ReAssemble-To-Order (RATO)

Un incremento nella complessità del prodotto ed una diminuzione nel volume dei prodotti restituiti porta al modello di rifabbricazione ReAssemble-To-Order (RATO).

Le caratteristiche di tale ambiente sono riassunte in Tabella 3-2. Il volume dei ritorni è tipicamente molto più basso rispetto a quello degli ambienti RMTS. Il volume dei ritorni spesso limita l’ammontare della domanda dei clienti soddisfatta con i prodotti rifabbricati, dal momento che solitamente l’ammontare dei prodotti restituiti è minore del numero di item rimpiazzati e dei nuovi acquisti.

Tabella 3-2: Dimensioni chiave per la pianificazione in ambienti RATO (Guide, et al., 2003)

Dimension	Reassemble-to-Order (RATO)
Returns volume	Moderate
Returns timing	Forecast with some certainty
Returns quality	Uncertain
Product complexity	Moderate to high
Test and evaluate complexity	Moderate to high
Remanufacturing complexity	Moderate to high

In questi ambienti i contratti di leasing permettono di controllare maggiormente il tempo dei ritorni e la quantità dei ritorni. La qualità di questi ritorni, invece, è difficilmente prevedibile a causa della complessità del prodotto e della stretta correlazione tra la qualità del prodotto restituito e l’intensità del suo utilizzo. È frequente in questo ambiente l’utilizzo di strumenti la classificazione dei ritorni, in modo da determinare l’uso più economico del prodotto restituito (dopo aver determinato le condizioni del prodotto). L’ispezione, la valutazione e la selezione dei prodotti comporta un maggiore utilizzo di test che risultano anche più sofisticati rispetto a quelli

utilizzati negli ambienti RMTS (si determina, in alcuni casi, la vita residua di un componente e quindi la sua riutilizzabilità).

I prodotti sono costituiti da un numero elevato di parti e componenti. Nonostante le aziende spesso utilizzino componenti e parti comuni, dove possibile, la perfetta intercambiabilità di parti e componenti tra differenti modelli ancora non esiste.

La complessità del processo di rifabbricazione è direttamente collegata non soltanto al numero di parti e componenti, ma anche al numero di operazioni richieste per far ritornare ogni componente in uno stato accettabile.

Molte delle aziende che gestiscono questo tipo catena inversa, non producono per il magazzino, ma riassemblano il prodotto sulla base degli ordini dei clienti. La maggioranza del magazzino è costituita da parti e componenti. La politica Reassemble-To-Order si basa su una progettazione modulare.

In un ambiente RATO, il ruolo delle informazioni è cruciale, dal momento che i prodotti, le ispezioni e i processi di rifabbricazione sono significativamente più complessi rispetto all'ambito RMTS. In ambito RATO, ci sono molti item da tracciare, monitorare e controllare nel loro avanzamento.

I prodotti inoltre sono complessi (centinaia di parti e migliaia di componenti). I prodotti, le parti e i componenti spesso richiedono complessi test e procedure di valutazione. Inoltre, questi prodotti sono più costosi rispetto al caso precedente; perciò le unità in attesa in magazzino potrebbero rappresentare un investimento eccessivamente costoso. Inoltre, è importante notare che potrebbero esserci diversi possibili utilizzi economicamente validi per le parti rifabbricate (ad esempio ricambi o parti di unità rifabbricate), e ciò deve essere preso in considerazione al momento della pianificazione dei vari livelli inventariali.

In tale contesto di rifabbricazione il bilanciamento della domanda di prodotti rifabbricati, di parti di ricambio e di consumabili con l'offerta di *core* nell'ambito del ciclo di vita del prodotto è un aspetto particolarmente critico per la profittabilità del business.

3.1.3 Gli ambienti ReManufacture-To-Order (RMTO)

Il terzo modello di rifabbricazione è caratterizzato da volumi dei ritorni molti bassi e da una complessità del prodotto e del processo di rifabbricazione molta elevata. La Tabella 3-3 sintetizza i valori caratteristici per un ambiente ReManufacture-To-Order.

Tabella 3-3 : Dimensioni chiave della pianificazione in ambienti RMTO (Guide, et al., 2003)

Dimension	Remanufacture-to-Order (RMTO)
Returns volume	Low
Returns timing	Forecast with some certainty
Returns quality	Highly uncertain
Product complexity	High
Test and evaluate complexity	High
Remanufacturing complexity	High

In tale ambiente il ritorno dei prodotti è facilmente prevedibile dal momento che le attività di rifabbricazione vengono svolte nell'ambito di un sistema chiuso, con una piccola popolazione di *asset* sotto il controllo di un'organizzazione centrale. Il guasto non previsto di una certa unità induce ovviamente imprevedibilità nel sistema, ma tali eventi sono piuttosto rari.

La qualità dei ritorni, invece, è altamente variabile, complicando così la pianificazione dei fabbisogni di materiali, manodopera e risorse produttive in generale. Infatti, le unità devono essere disassemblate, pulite, ed ogni parte deve essere ispezionata individualmente prima di poter prendere alcuna decisione in merito all'attività di recupero più adeguata. Le parti e i componenti potrebbero subire una serie di processi di recupero, quindi impegno di risorse, per poi essere scartati.

Molto spesso tempi di approvvigionamento eccessivamente lunghi (anni) costringono a rifabbricare componenti che sono necessari in orizzonti temporali molto più brevi.

I prodotti sono complessi ed hanno un numero elevato di parti e componenti (in alcuni casi ci sono più di 40.000 componenti).

La variabilità della qualità dei ritorni, l'elevato numero di parti e i fabbisogni variabili di ogni parte da rifabbricare, rendono la pianificazione e il controllo delle attività di remanufacturing molto complessi. In particolare, il coordinamento del disassemblaggio con le operazioni di rifabbricazione è un fattore critico.

In tale ambiente sono necessarie, quindi, informazioni accurate ed aggiornate in tempo reale. Ad esempio, in virtù dei lunghi tempi di approvvigionamento per alcuni componenti, la tempestiva notifica della difficoltà di recupero di tali componenti, darebbe la possibilità di valutare alternative di *sourcing*. Del resto il mantenimento di scorte è, nella maggior parte dei casi, proibitivo, a causa degli alti costi associati a parti e componenti.

Il problema più critico negli ambienti RMTO è sicuramente quello della pianificazione della capacità in virtù della marcata variabilità dei cicli di lavorazione.

3.1.4 Confronto dei diversi contesti di rifabbricazione

Come visto in precedenza, il recupero del prodotto può configurarsi in diversi modi possibili e a ciascuno corrispondono esigenze diverse di posizionamento strategico del prodotto e di pianificazione (Tabella 3-4).

Tabella 3-4: Linee guida per i modelli di pianificazione della produzione in rifabbricazione (Guide, et al., 2003)

	Planning focus	Planning level	Key decision
RMTS	Match core supply with demand	End-item cores	Recovered parts Replacement parts
RATO	Component mix to meet demand	Component	Final reassembly schedule Recovered components Recovered parts Replacement parts
RMTO	Replacement materials required to meet forecast demand	Part Component	Replacement parts

In tutti e tre i contesti di rifabbricazione l'obiettivo principale della pianificazione è quello di assicurarsi l'adeguato approvvigionamento di materiali per soddisfare la domanda, quello che cambia nei tre casi è l'oggetto della pianificazione: *core* nell'ambiente RMTS, mix delle opzioni nell'ambiente RATO e singole parti nell'ambiente RMTS.

Negli ambienti RMTS, infatti, è essenziale bilanciare la domanda di prodotti con il volume dei ritorni. Nel caso dei RATO, invece, l'obiettivo si sposta nel bilanciare il recupero di particolari moduli con la domanda del mercato. Negli ambienti RMTO, infine, l'obiettivo è quello di soddisfare la domanda grazie alla disponibilità di componenti di rimpiazzo critici.

3.2 Confronto tra strategie di fabbricazione e di rifabbricazione

Come anticipato, Guide et al. (2003) suggeriscono profonde analogie tra i modelli di rifabbricazione individuati e la matrice prodotto-processo di Hayes e Wheelwright e le sue implicazioni sulle scelte di pianificazione della produzione (Figura 3-1).

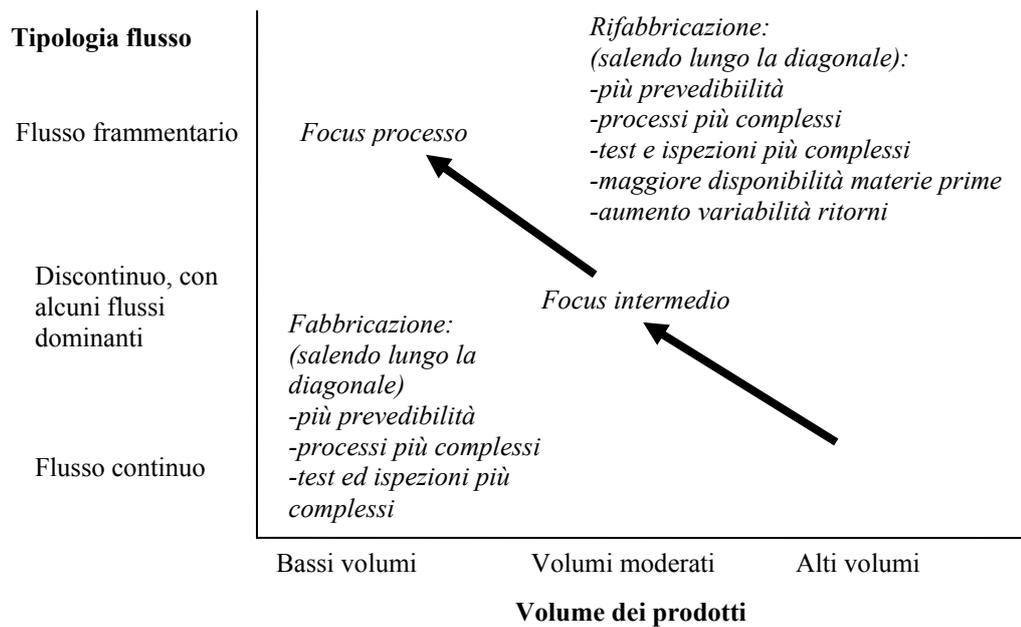


Figura 3-1: Matrice prodotto-processo modificata (Guide, et al., 2003)

Le analogie tra fabbricazione e rifabbricazione possono essere sintetizzate in:

- **Relazione tra volume e strategia.** All'aumentare del volume, in entrambi i casi, si registra un passaggio da sistemi *Manufacture-To-Order*, a *Manufacture-To-Stock*, passando per i sistemi *Assemble-To-Order*.
- **Prevedibilità della domanda.** Sia la produzione che la rifabbricazione manifestano problemi simili di prevedibilità della domanda quando ci si sposta lungo la diagonale, in particolare la prevedibilità diminuisce dall'alto verso il basso.
- **Complessità del prodotto.** In molti casi alti volumi di produzione giustificano una progettazione che ne facilita la fabbricazione o rifabbricazione. La riduzione della complessità del prodotto è collegata ed accompagnata ad una diminuzione della complessità delle ispezioni e della produzione.
- **Complessità dei test.** Analogamente alla complessità del prodotto, la complessità delle ispezioni solitamente diminuisce

all'aumentare del volume dei prodotti. Nella produzione tradizionale, i test richiedono un'ispezione visiva e test funzionali utilizzati per determinare se il prodotto è accettabile o meno. Nella rifabbricazione, test ed ispezioni si riferiscono alla determinazione della condizione dei prodotti restituiti e delle sue parti e componenti per valutarne la destinazione.

- **Complessità dei processi produttivi.** All'aumentare del volume dei prodotti c'è un aumento della necessità di automatizzare i processi. Per bassi volumi, in entrambi i casi, l'unica opzione economicamente fattibile è l'utilizzo di attrezzature *general purpose*. All'aumentare del volume dei prodotti, in entrambi i casi, si ricorre all'uso di attrezzature specifiche per un certo prodotto o famiglia di prodotti.

Nonostante queste similitudini i sistemi di rifabbricazione presentano importanti differenze rispetto ai sistemi tradizionali; tali differenze sono principalmente riconducibili all'incertezza negli approvvigionamenti e nella qualità dei prodotti restituiti. Muovendosi in basso lungo la diagonale, ovvero all'aumentare del volume dei ritorni, l'incertezza nella quantità e nei tempi dei ritorni aumenta, mentre quella nel livello qualitativo diminuisce.

3.3 Attività di pianificazione in un sistema di rifabbricazione

Molti studi confermano che la maggiore incertezza e il conseguente aumento della variabilità in un sistema di rifabbricazione rendono problematico l'impiego degli strumenti tradizionali di pianificazione e controllo della produzione.

Un sistema di rifabbricazione può essere scomposto in modo grossolano in tre sottosistemi fortemente interdipendenti: l'area di

disassemblaggio, l'area di processamento e l'area di riassetaggio (Figura 3-2).

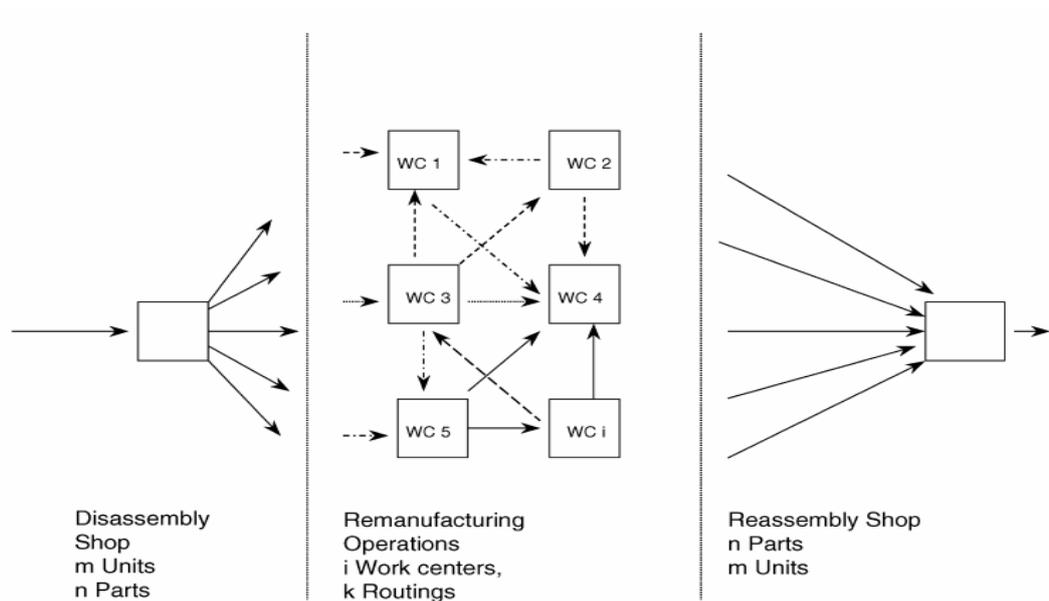


Figura 3-2: Macro elementi di un sistema di rifabbricazione (Guide, et al., 1999)

Una corretta pianificazione non può prescindere dall'ulteriore complessità derivante dal coordinamento delle attività di queste tre aree. In altri termini il problema della pianificazione della produzione può essere caratterizzato nel trovare il *quando* ed il *quanto* per una serie di variabili decisionali tra loro collegate: *quando* e *quanto* disassemblare, *quando* e *quanto* rifabbricare, *quando* e *quanto* produrre e/o acquistare nuovi materiali; e nel coordinare il disassemblaggio con l'assemblaggio.

Un'importante differenza tra la pianificazione della produzione nei sistemi tradizionali e quella nei sistemi di rifabbricazione è che in questi ultimi viene meno il tipico rapporto gerarchico tra le canoniche fasi della pianificazione. Infatti, i volumi di produzione effettivi, oltre a dipendere dalla domanda di mercato e da vincoli di capacità produttiva, sono funzione anche della quantità di materiali (core, componenti e parti recuperate, componenti nuovi) che si rendono disponibili durante il processo stesso. Quindi una corretta attività di pianificazione e controllo della produzione nei sistemi di rifabbricazione (pianificazione dei fabbisogni di risorse, scheduling delle

attività, controllo sull'avanzamento degli ordini ecc.) non può prescindere, anzi è fortemente influenzata, da una corretta attività di pianificazione e controllo dei materiali recuperati.

Nel prosieguo del capitolo si analizza il problema della pianificazione dei materiali evidenziandone la stretta relazione con quello della pianificazione della produzione. In particolare per affrontare il problema della variabilità nei materiali recuperati verranno descritte due tipiche attività di pianificazione dei materiali recuperati che permettono di coordinare le attività di pianificazione della produzione con il flusso dei ritorni.

3.3.1 La pianificazione a livello di core

Una caratteristica importante di certi ambienti di rifabbricazione (RMTS, RATO) è che la domanda di prodotti rifabbricati non è sempre sincronizzata con il ritorno di prodotti²⁶. Questa situazione ovviamente influisce sulla domanda che si può effettivamente soddisfare e dovrebbe essere affrontata già in fase di pianificazione principale della produzione.

Guide et al. (1999) propongono una sorta di MPS, il *Master Receipt Schedule* (MRS), per confrontare i fabbisogni di prodotti rifabbricati con la quantità prevista di core disponibili. Azioni conseguenti a questa attività di pianificazione in un certo orizzonte di pianificazione potrebbero essere: quella di ricercare fonti aggiuntive di core, ritardare l'arrivo di core, disfarsi di core a magazzino o semplicemente verificare che la quantità di core a disposizione è sufficiente a coprire la domanda. Questa attività ovviamente migliorerebbe la fattibilità delle successive attività di pianificazione e permetterebbe di ridurre i costi di mantenimento del magazzino dei core.

In realtà la necessità di dover pianificare il flusso dei ritorni a livello di core, e non a livello di singolo componente, deriva da due tipiche caratteristiche degli ambienti di rifabbricazione.

²⁶ Negli ambienti RMTO esiste correlazione tra la domanda di prodotto rifabbricato e il ritorno dello stesso. Per questo motivo ai problemi di gestione dei core in rifabbricazione è stata spesso applicata la teoria delle scorte riparabili.

Mentre nella produzione tradizionale l'approvvigionamento dei vari componenti può avvenire in modo indipendente, nella rifabbricazione la principale fonte di approvvigionamento dei componenti è il disassemblaggio dei core. Inoltre poiché il tasso di recupero di una parte da un core (MRR) è variabile non è possibile fare riferimento alla domanda di singole parti ma ad un certo fabbisogno di core di cui si deve prevedere il flusso.

È questo il motivo per cui molte aziende di rifabbricazione pongono come prima attività di pianificazione quella di bilanciamento dei fabbisogni di core con la domanda di prodotti rifabbricati. Successivamente tale pianificazione del flusso di core viene scomposta a livello di componente.

La pianificazione dei flussi di core può avvenire in due modi (Ostlin, 2008):

- Pianificazione per una certa domanda di prodotto rifabbricato (ambienti RATO, RMTO);
- Pianificazione sulla base della disponibilità di core (ambienti RMTS).

Nel primo caso la domanda di prodotto rifabbricato è fissata sulla base degli ordini dei clienti ed il fabbisogno di core è stimato sulla base del tasso di recupero di materiale. In genere il rapporto tra core entranti nell'impianto e prodotti rifabbricati è pari ad 1 nella prima fase del ciclo di vita del prodotto, ovvero quando è basso il numero di core disponibili. Nelle successive fasi, invece, la disponibilità di core a basso costo rende conveniente l'opzione di cannibalizzazione e il suddetto rapporto cresce.

Nel secondo caso, invece, tipicamente sono dei sistemi a punto di riordino sui magazzini di prodotti rifabbricati a gestire gli ordini di rifabbricazione, la cui entità dipende dalla disponibilità di core al momento del lancio dell'ordine di rifabbricazione. Il numero di prodotti effettivamente rifabbricati è variabile e dipende dal livello qualitativo dei core utilizzati²⁷.

²⁷ Si osservi che i modelli di gestione delle scorte di prodotti rifabbricati possono essere classificati in due categorie principali: modelli a revisione periodica e modelli a revisione continua. Inoltre in

3.3.2 La pianificazione a livello di componente

A livello aggregato la pianificazione dei recuperi affronta il problema del bilanciamento dei ritorni con la domanda di prodotti rifabbricati. A livello di componente, invece, la pianificazione dei materiali recuperi permette di gestire il problema dell'incertezza nel numero di componenti recuperati dai core. I componenti che non sono direttamente recuperabili devono essere riprocessati o sostituiti con componenti nuovi.

Dal punto di vista della pianificazione dei materiali, i componenti possono essere suddivisi in quattro diverse categorie di pianificazione (Ostlin, 2008):

- Componenti che devono essere sempre sostituiti;
- Componenti che possono essere riutilizzati o riprocessati;
- Componenti che sono trovati inutilizzabili, ma che possono essere ordinati entro la data del riassettaggio;
- Componenti che sono trovati inutilizzabili, ma che devono essere ordinati sulla base di previsioni.

Componenti che devono essere sempre sostituiti

Alla prima categoria appartengono quei componenti che in un prodotto rifabbricato devono essere sempre sostituiti con componenti nuovi. Il motivo della sostituzione può essere l'usura del componente (i cuscinetti ed i pistoni in un motore) oppure l'aggiornamento del componente stesso ai più recenti standard tecnologici. Per tali componenti non è necessario il calcolo del valore di MRR, e possono essere approvvigionati indipendentemente dagli esiti delle fasi di disassemblaggio ed di ispezione. La pianificazione per questa categoria di componenti è la più prevedibile. Infatti, fissata la quantità di prodotti da rifabbricare, la quantità esatta di componenti necessari è

letteratura è possibile trovare lavori in cui vengono sviluppate strategie per la decisione combinata sulle attività di produzione e di immagazzinamento.

immediatamente nota dalla distinta base del prodotto come nel caso della fabbricazione ex novo.

Tuttavia in un contesto di rifabbricazione anche per tali componenti potrebbero nascere problemi di pianificazione. Infatti, potrebbe succedere che il lead time di tali componenti sia maggiore del tempo intercorrente tra la conferma dell'ordine e la data di riassettaggio delle parti. Questa situazione produce un allungamento dell'orizzonte di pianificazione a causa dei vincoli relativi all'approvvigionamento dei materiali (Figura 3-3), e costringe ad ordinare i componenti sulla base di previsioni.

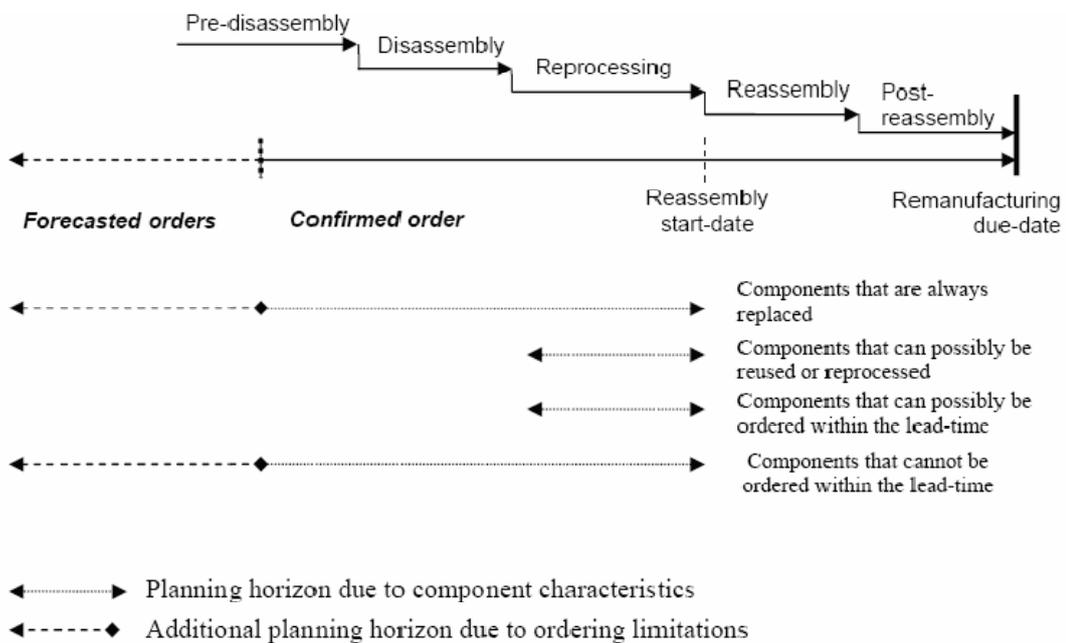


Figura 3-3: Orizzonti di pianificazione per le diverse categorie di componenti (Ostlin, 2008)

Componenti riutilizzabili o riprocessabili

Alcuni componenti, in virtù delle loro condizioni qualitative, potrebbero essere riutilizzati o riprocessati. L'effettivo fabbisogno di questi componenti, al momento della rifabbricazione, è noto solo dopo la fase di ispezione ed approvazione per il recupero. In alcuni casi lo stato dei componenti può essere valutato prima del disassemblaggio producendo, dal punto di vista

della pianificazione dei materiali, un orizzonte temporale maggiore per l'approvvigionamento o per il riprocessamento.

Per i componenti riprocessabili bisogna verificare che l'operazione di riprocessamento possa avvenire nella finestra temporale individuata dalla data di disassemblaggio e quella di riassettaggio (Figura 3-4).

Se tale condizione è rispettata, i componenti possono essere utilizzati sullo stesso core, in caso contrario bisogna fare ricorso all'acquisto di nuovi componenti o ad una scorta di componenti rifabbricati. Quindi anche in questo caso l'ispezione anticipata permette di aumentare la finestra temporale per il riprocessamento.

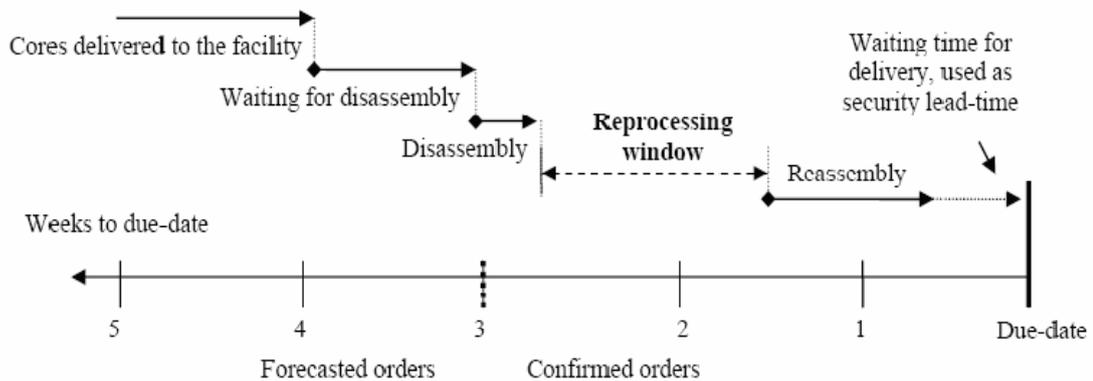


Figura 3-4: Finestra temporale di riprocessamento (Ostlin, 2008)

Componenti ordinabili entro la data di riassettaggio

A questa categoria appartengono i componenti, difettosi all'ispezione, che non è economicamente conveniente riprocessare. La situazione ideale sarebbe poter ordinare tali componenti sulla base degli effettivi fabbisogni dopo l'ispezione e vederli consegnati prima del riassettaggio del prodotto. Anche in questo caso l'anticipo della fase diagnostica sui componenti permetterebbe di instaurare un meccanismo di acquisto "customer driven".

Componenti non ordinabili entro la data di riassettaggio

Questa categoria di componenti è la più difficile da pianificare, i componenti devono essere ordinati, infatti, sulla base di previsioni di domanda per i

prodotti rifabbricati. Tale previsione è particolarmente difficile in quanto deve tenere conto di due fattori di incertezza. Il primo è legato alla variabilità della domanda di prodotto rifabbricato e l'altro alla variabilità nel numero di componenti recuperati da ciascun core.

3.4 La gestione dei materiali a domanda dipendente

La necessità di dover sostituire dei componenti durante il processo di rifabbricazione conferisce ai problemi di pianificazione e controllo delle scorte un ruolo centrale nella pianificazione e controllo della produzione. In particolare nei sistemi di rifabbricazione la gestione dei materiali a domanda dipendente è particolarmente critica in quanto questi ultimi hanno maggiore impatto sulle decisioni di pianificazione della produzione. In molti casi per ridurre l'instabilità dei piani di produzione derivante dall'incertezza dei tassi di recupero, si fa largo uso di scorte di tali componenti.

L'individuazione, quindi, dei modelli di gestione più adeguati alle diverse tipologie componenti a domanda dipendente diventa un problema particolarmente critico nei sistemi di rifabbricazione.

In questo paragrafo saranno presentati i diversi metodi, presenti in letteratura e relativi alla pianificazione dei materiali nella rifabbricazione, mutuati da quelli esistenti per la fabbricazione tradizionale: il metodo del punto di riordino, il metodo del ciclo di riordino, un sistema MRP esteso al caso di rifabbricazione dei prodotti e le tecniche di dimensionamento del lotto per la rifabbricazione.

3.4.1 Il metodo del punto di riordino nella rifabbricazione

Tale metodo nel caso della rifabbricazione è legato sia alla domanda di prodotti rifabbricati, che alla disponibilità di prodotti o componenti recuperati.

Analogamente ai sistemi ROP per la produzione tradizionale, un ordine di un lotto viene emesso quando il livello delle scorte disponibili (*inventory position*) nel magazzino dei prodotti finiti scende al di sotto di un prestabilito livello di riordino. Se è disponibile un lotto di prodotti da rifabbricare nel magazzino dei prodotti o componenti rifabbricabili, viene emesso un ordine di rifabbricazione. Se non è disponibile un numero sufficiente di prodotti da rifabbricare, viene emesso un ordine di acquisto o di produzione per soddisfare la domanda di prodotti/componenti.

Il sistema può anche prevedere due livelli di riordino: il primo legato al magazzino di prodotti rifabbricabili (r_r), ed il secondo legato alla produzione o all'acquisto di nuovi prodotti (r_m). Tale strategia è usata soprattutto quando il numero di prodotti/componenti recuperati supera il numero di prodotti/componenti richiesti. Se si verifica, infatti, tale condizione vi sarà un'eccedenza di prodotti/componenti nel magazzino dei prodotti/componenti recuperabili.

La seguente notazione è relativa alla Figura 3-5:

L_r = Lead time di rifabbricazione;

Q_m = Lotto di produzione;

Q_r = Lotto di rifabbricazione;

r_m = Livello di riordino per la produzione;

r_r = Livello di riordino per la rifabbricazione.

— Scorta fisica nel magazzino prodotti finiti

---- Scorta disponibile nel magazzino prodotti finiti

..... Livello di scorta nel magazzino di prodotti rifabbricabili

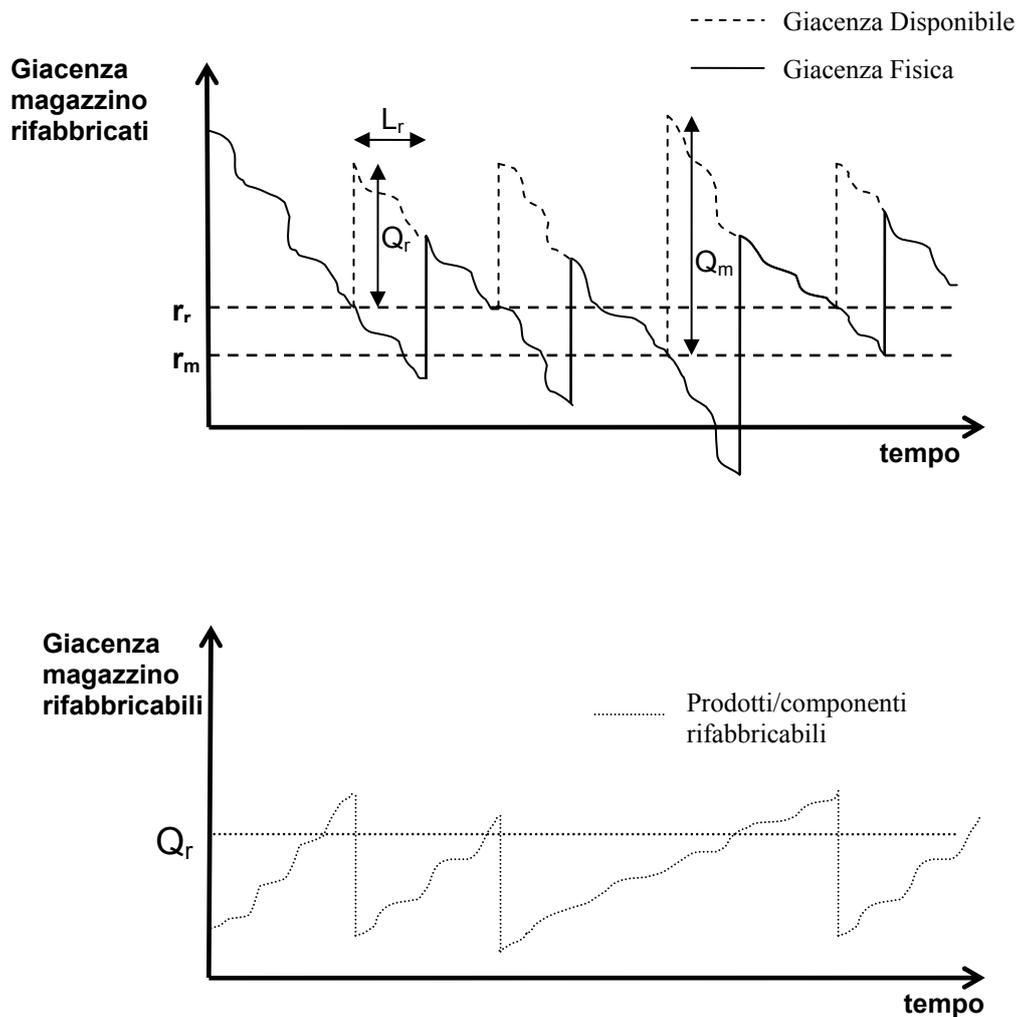


Figura 3-5: Sistema a punto di riordino per la rifabbricazione (van der Laan, et al., 2006)

3.4.2 Il metodo del ciclo di riordino nella rifabbricazione

Anche nella rifabbricazione il controllo delle scorte può essere effettuato in modo periodico anziché continuo. Un esempio di gestione periodica delle scorte potrebbe essere il seguente: ogni R periodi un lotto Q_r di prodotti/componenti rifabbricabili, la cui dimensione non è fissa ma variabile stocasticamente, viene inviato al processo di rifabbricazione. Se dopo il rilascio di tale lotto Q_r , la scorta disponibile nel magazzino prodotti finiti è inferiore al livello di ripristino delle giacenze S_m (*order-up-to level*), allora viene ordinato un lotto di produzione Q_m sufficiente a riportare il livello di

scorta disponibile nel magazzino prodotti finiti al livello S_m . Nella Figura 3-6, che illustra il sistema a riordino periodico per un sistema di rifabbricazione, è utilizzata la seguente notazione:

L_r = Lead time di rifabbricazione;

L_m = Lead time di produzione;

Q_m = Lotto di produzione;

Q_r = Lotto di rifabbricazione;

S_m = Livello di ripristino della giacenza nel magazzino prodotti finiti;

R = Periodo di revisione;

— Scorta fisica (net stock) nel magazzino prodotti finiti;

---- Scorta disponibile (inventory position) nel magazzino prodotti finiti.

L'ampiezza del periodo di revisione R può essere scelta tenendo conto del trade off tra l'ampiezza dei lotti di produzione e rifabbricazione ed il numero di ordini effettuati; oppure potrebbe anche essere semplicemente determinata del ciclo di funzionamento del sistema MRP eventualmente utilizzato dall'azienda.

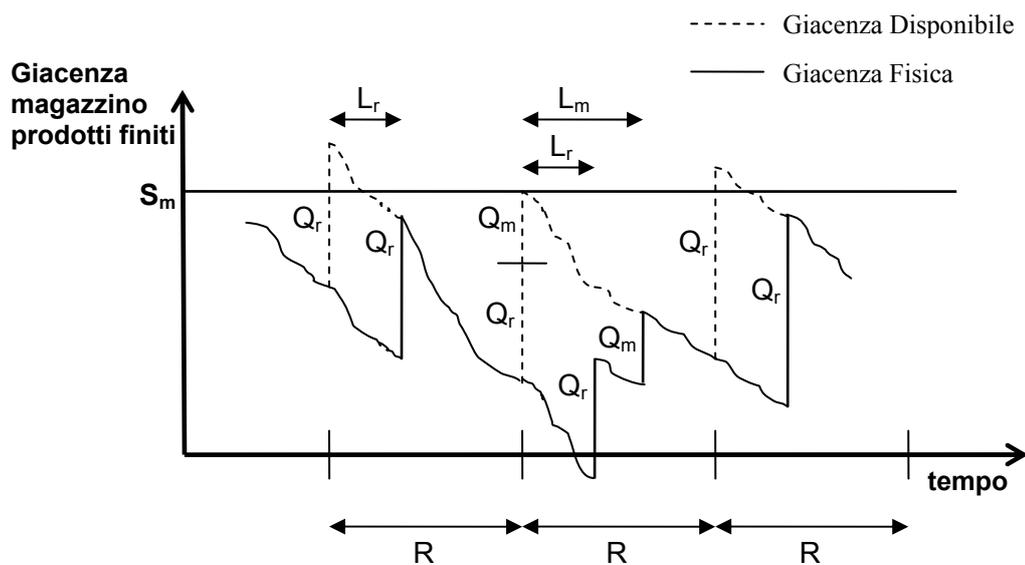


Figura 3-6: Sistema a riordino periodico per un sistema di rifabbricazione (van der Laan, et al., 2006)

3.4.3 MRP nei sistemi di rifabbricazione

Alcuni studiosi sostengono che i tradizionali sistemi MRP, con opportune modifiche per tenere conto dell'incertezza dei tassi di recupero, potrebbero essere utilizzati per la gestione dei materiali a domanda dipendente anche nei sistemi di rifabbricazione. L'uso di opportune scorte di sicurezza o di altri accorgimenti per proteggersi dalla variabilità del recupero, però, non riesce a risolvere del tutto il problema della stabilità dei piani di produzione. A tal punto che altri autori si chiedono se le spese di implementazione di tali sistemi sono, poi, compensate dall'effettiva semplificazione nella gestione.

Rispetto ai sistemi MRP utilizzati nella produzione tradizionale, sono utilizzati ulteriori "input" come il numero previsto di prodotti/componenti recuperati ed il livello di magazzino dei prodotti/componenti rifabbricabili.

Un esempio di sistema MRP per la rifabbricazione è presentato in Tabella 3-5. In tale esempio viene utilizzata la regola di priorità "*remanufacturing first*" che assegna un livello di priorità maggiore alla rifabbricazione rispetto alla produzione. Il limite pianificato di smaltimento dei componenti è fissato a dieci unità. La tabella mostra come viene pianificato nel tempo il rilascio degli ordini per tutte le attività considerate: smaltimento pianificato, rifabbricazione, e produzione. Per il calcolo dei rilasci degli ordini di produzione/rifabbricazione vengono considerati i seguenti lead time per la produzione e per la rifabbricazione: $L_r = 1$; $L_m = 1$.

Il numero atteso di prodotti recuperati, la domanda lorda e gli ordini già emessi di produzione e rifabbricazione, sono dati di ingresso al sistema (evidenziati in grassetto). La scorta di sicurezza per il magazzino dei prodotti/componenti rifabbricati è di cinque unità ($SS=5$), mentre il magazzino dei prodotti/componenti recuperabili non deve eccedere le dieci unità, cioè, si usa un livello pianificato di smaltimento pari a dieci unità ($DL=10$). La procedura per il calcolo del fabbisogno netto è analoga a quella effettuata nei sistemi MRP per la produzione tradizionale. Applicando la

regola di priorità “*remanufacturing first*” e tenendo conto del livello pianificato di smaltimento (DL), si calcolano poi gli ordini pianificati di rifabbricazione e di produzione. Infine, si applica la procedura del “*Lead Time Offsetting*” per calcolare le date di rilascio degli ordini di smaltimento, rifabbricazione e produzione.

È interessante notare che nello sviluppo della procedura di calcolo potrebbero essere usate diverse regole di rilascio degli ordini. Per esempio, una regola alternativa potrebbe essere quella di rifabbricare immediatamente tutte le unità disponibili nel magazzino di prodotti rifabbricabili. Inoltre, l’incertezza nel flusso di ritorno dei prodotti/componenti e nei lead time di produzione e rifabbricazione viene tenuta in conto aggiungendo scorte di sicurezza e/o lead time di sicurezza per far fronte agli eventi imprevisi legati all’attività produttiva.

Tabella 3-5: Un esempio di sistema MRP per la rifabbricazione (Inderfurth, 2001)

		Periodo di Tempo			
		1	2	3	4
Fabbisogno Lordo		20	10	5	15
Ordini Emessi Produzione		16	-	-	-
Ordini Emessi Rifabbricazione		3	-	-	-
Disponibilità Iniziale prodotti/componenti [SS=5]	8	7	5	5	5
Fabbisogno Netto		0	8	5	15
Ritorni Attesi prodotti/componenti		9	8	5	5
Disponibilità Iniziale prodotti/componenti [DL=10]	5	9	10	5	
Ordini Pianificati Rifabbricazione			5	5	10
Ordini Pianificati Produzione			3	0	5
Rilascio Ordini Smaltimento		0	2	0	
Rilascio Ordini Rifabbricazione		5	5	10	
Rilascio Ordini Produzione		3	0	5	

3.4.4 Il metodo EOQ per la rifabbricazione

Poiché il classico modello di Wilson del lotto economico fornisce un'espressione "robusta" utilizzabile anche in presenza di variabilità stocastica dei parametri, in letteratura sono state proposte diverse procedure per l'applicazione del modello EOQ ai sistemi con rifabbricazione dei prodotti.

Erwin A. van der Laan e Ruud H. Teunter (2006) presentano una procedura per il calcolo del *lotto economico*, relativa ad un sistema ibrido di rifabbricazione per il quale vengono proposte tre differenti politiche a punto di riordino: una politica di tipo PUSH e, due politiche di tipo PULL (ad uno e a due livelli di riordino). Gli autori calcolano formule EOQ sia per il controllo di tipo PUSH che per il controllo di tipo PULL, considerando un sistema deterministico. Le formule ottenute sono poi approssimate ed utilizzate nel problema stocastico di partenza.

Il sistema ibrido al quale si riferiscono le formule è riportato nella Figura 3-7. Le politiche PUSH e PULL a riordino periodico verranno analizzate dettagliatamente nel capitolo successivo.

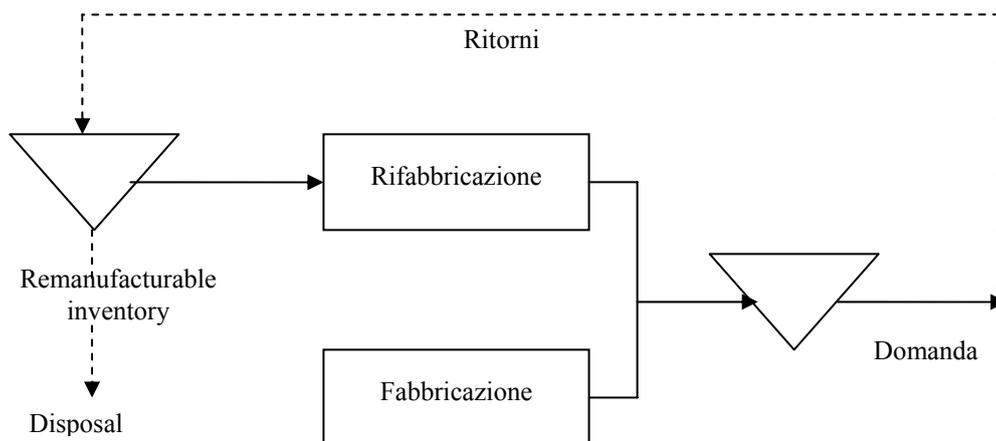


Figura 3-7: Modello di sistema ibrido di rifabbricazione

Formule EOQ per il controllo PUSH

Al fine di derivare formule EOQ per i lotti di rifabbricazione Q_r e di produzione Q_m , si consideri un sistema ibrido deterministico con flussi di domanda e ritorno dei prodotti aventi tasso pari a λ e γ rispettivamente.

La derivazione delle formule non è semplice come nel caso di produzione tradizionale senza recupero di prodotti poiché differenti combinazioni nella schedulazione dei lotti di produzione e rifabbricazione, conducono a formule differenti. La procedura di calcolo verrà sviluppata per le combinazioni *A* e *B* che hanno il seguente significato:

- *Caso A*: un lotto di produzione seguito da un numero fisso di lotti di rifabbricazione (T_m intero multiplo di T_r);
- *Caso B*: un lotto di rifabbricazione seguito da un numero fisso di lotti di produzione (T_r intero multiplo di T_m).

Non vengono qua considerati cicli più complessi perché è ragionevole attendersi che esista sempre una “buona” soluzione, vicina al valore ottimo (soluzione sub ottima), in corrispondenza di una combinazione di tipo *A* o di tipo *B*. Alcuni autori hanno dimostrato che una combinazione ottimale potrebbe essere costituita da un ciclo del tipo: un lotto di produzione, tre lotti di rifabbricazione, un lotto di produzione, quattro lotti di rifabbricazione, e così via. Anche in questo caso si può, però, ricondurre il ciclo proposto a soluzioni di tipo *A* e *B*.

Sia per il caso *A* che per il caso *B* vengono derivate due coppie di formule che, per ragioni pratiche, sono poi raggruppate in un’unica coppia valida per tutte le situazioni considerate. Il caso *A* ed il caso *B* sono illustrati nella Figura 3-8 e Figura 3-9. Il *lead time* è posto uguale a zero in quanto in ogni caso non influenza l’ottimizzazione dei lotti Q_r e Q_m . Le notazioni adoperate nelle rappresentazioni sono:

Q_m = Lotto di produzione [unità];

Q_r = Lotto di rifabbricazione [unità];

λ = Tasso di domanda [unità/tempo];

γ = Tasso di ritorno dei prodotti [unità/tempo];

T_m = Tempo medio intercorrente tra due ordini di produzione [tempo];

T_r = Tempo medio intercorrente tra due ordini di rifabbricazione [tempo].

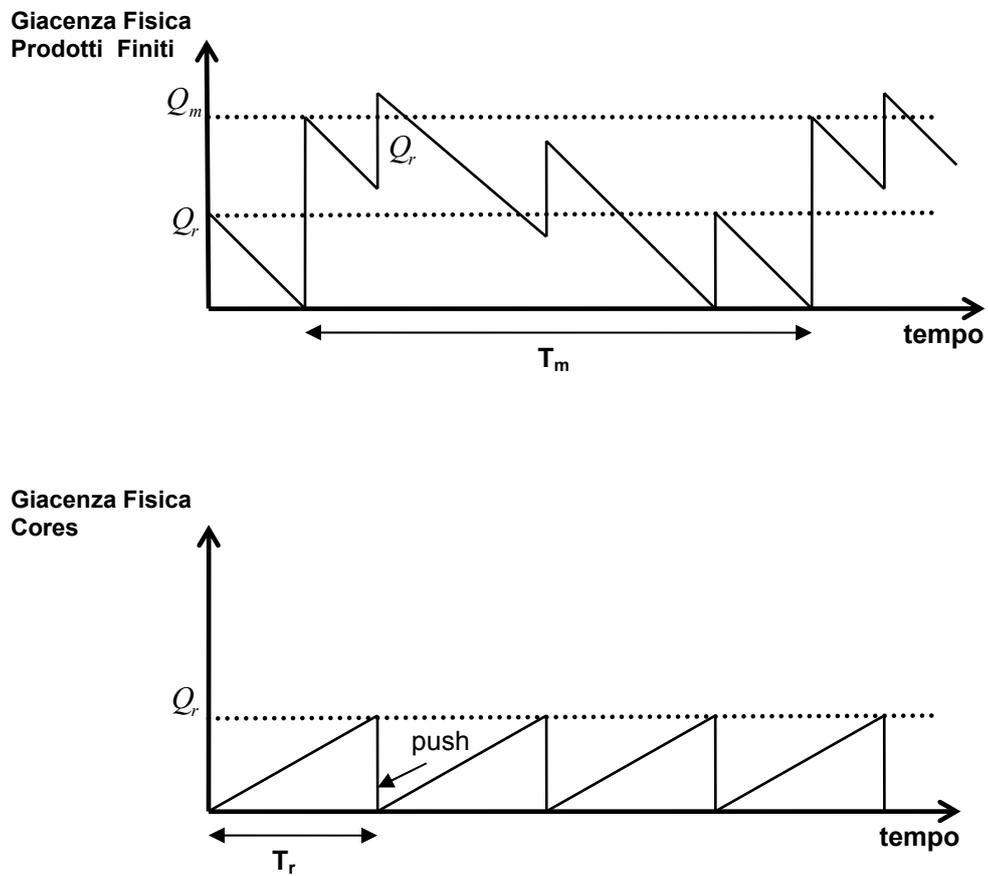


Figura 3-8: Andamento temporale delle scorte in un sistema PUSH con domanda e ritorno deterministici. Caso A: T_m intero multiplo di T_r (van der Laan, et al., 2006)

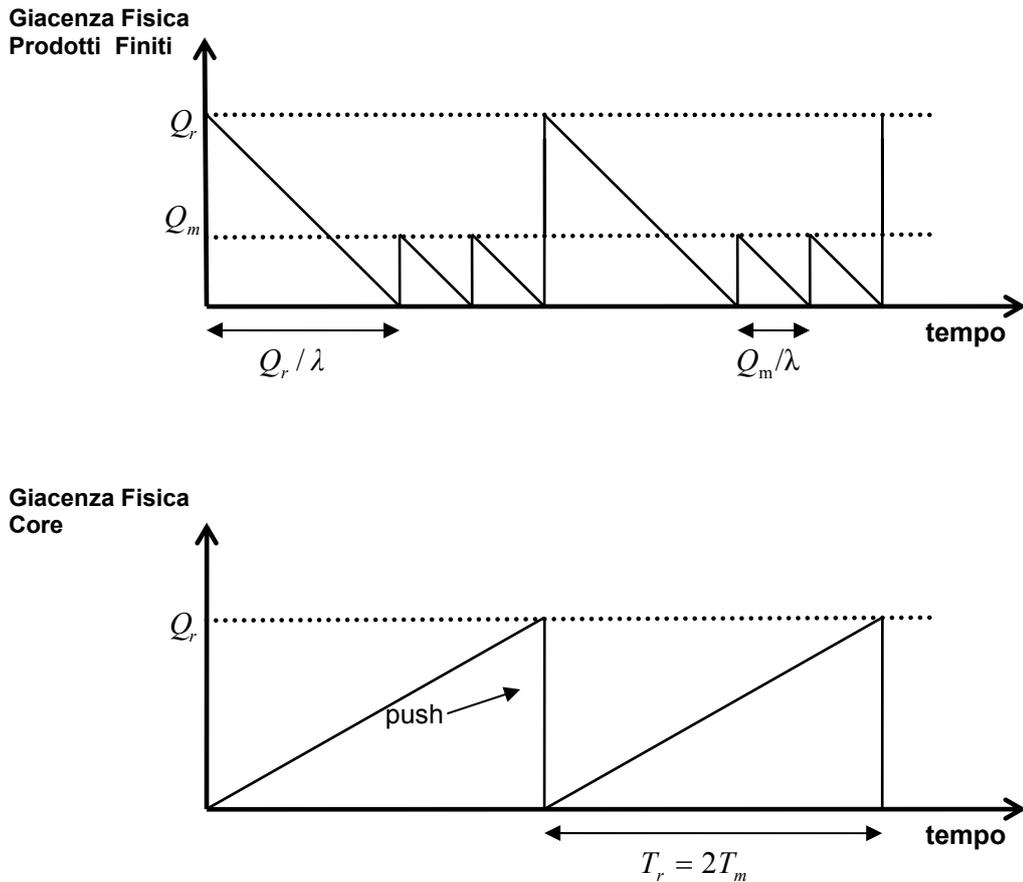


Figura 3-9: Andamento delle scorte in un sistema PUSH con domanda e ritorno deterministici. Caso B: T_r intero multiplo di T_m (van der Laan, et al., 2006)

Al fine di ottenere una politica stazionaria, la produzione e la rifabbricazione sono sincronizzate in modo tale che il tempo tra due successivi lotti di produzione, $T_m = Q_m/(\lambda-\gamma)$, sia un multiplo intero del tempo medio tra due successivi lotti di rifabbricazione (caso A), $T_r = Q_r/\gamma$, ovvero T_r è un multiplo intero di T_m (caso B). Inoltre la giacenza disponibile nel magazzino prodotti finiti (*serviceable inventory*) è la minima possibile in quanto la si ipotizza nulla un istante prima dell'arrivo di un lotto di produzione o di un lotto di rifabbricazione rispettivamente.

Caso A : T_m intero multiplo di T_r .

Il costo totale di gestione delle scorte è dato dalla somma del costo di mantenimento e del costo di set up. Il costo di produzione e di rifabbricazione viene qua trascurato perché non essendo previsto nel sistema lo smaltimento pianificato dei core (*disposal*), le decisioni riguardanti la gestione delle scorte non influenzano il numero di prodotti realizzati ex novo e rifabbricati nel lungo periodo. Per calcolare il costo di mantenimento delle giacenze è necessario calcolare la giacenza media nel magazzino dei prodotti finiti e dei prodotti rifabbricabili. La giacenza media nel magazzino prodotti finiti (*serviceable*) nel caso A è data dalla seguente espressione:

$$\frac{Q_m + Q_r}{2} - \frac{Q_m(Q_r/\lambda)}{T_m} = \frac{Q_m + Q_r}{2} - \frac{Q_m(Q_r/\lambda)}{Q_m/(\lambda - \gamma)} = \frac{Q_m + Q_r}{2} - \frac{Q_r(\lambda - \gamma)}{\lambda}$$

Equazione 3-1

Tale espressione può essere ricavata graficamente come mostrato nella Figura 3-10:

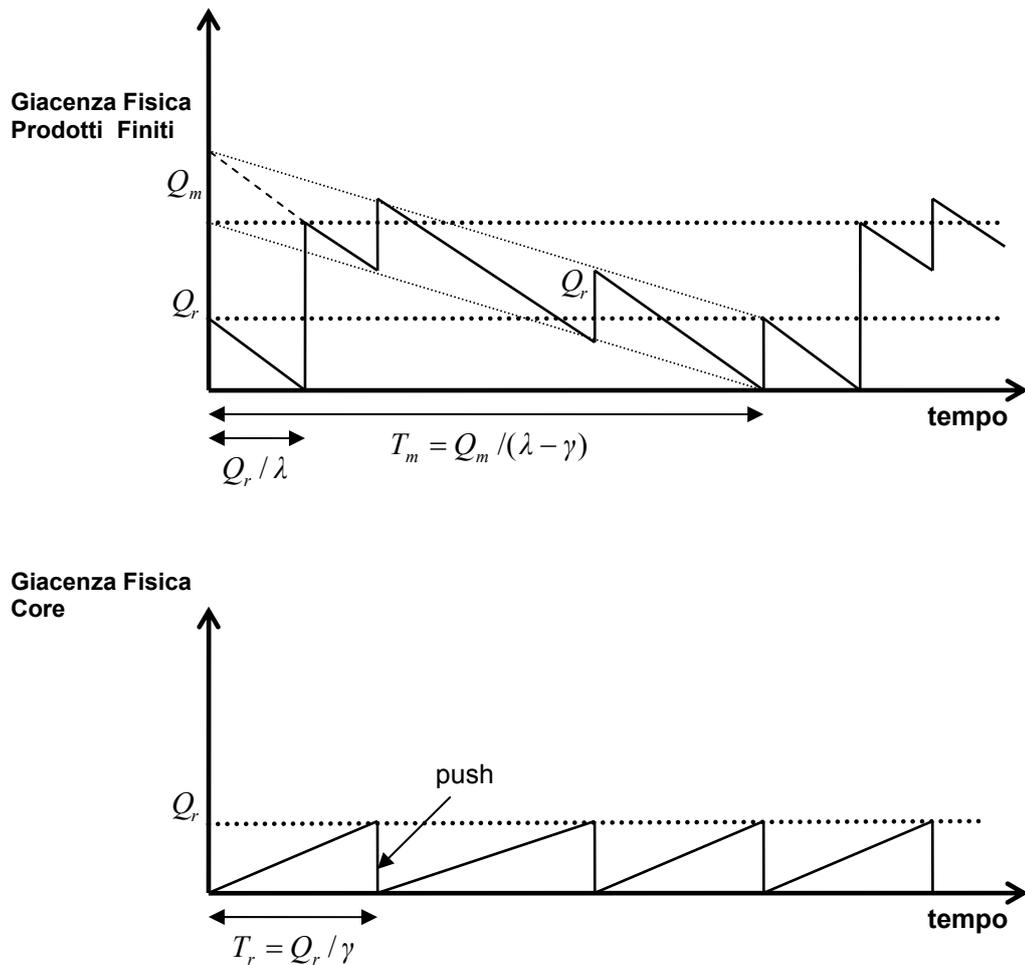


Figura 3-10: Controllo PUSH - Caso A: calcolo della giacenza media nel magazzino prodotti finiti (van der Laan, et al., 2006)

La giacenza media nel magazzino dei prodotti rifabbricabili è pari a $Q_r/2$ e quindi il costo totale di gestione delle scorte è dato da:

$$TC^A(Q_m, Q_r) = \frac{(\lambda - \gamma)K_m}{Q_m} + \frac{\gamma K_r}{Q_r} + h_s \left(\frac{Q_m + Q_r}{2} - \frac{Q_r(\lambda - \gamma)}{\lambda} \right) + h_r \left(\frac{Q_r}{2} \right)$$

Equazione 3-2

In tale espressione tutti i costi sono riferiti all'unità di tempo e quindi espressi in [€/tempo] e le notazioni introdotte hanno il seguente significato:

K_m = costo unitario di set-up per la produzione [€/lotto];

K_r = costo unitario di set-up per la rifabbricazione [€/lotto].

h_s = costo unitario di mantenimento per i prodotti finiti [€/unità*tempo];

h_r = costo unitario di mantenimento per i prodotti rifabbricabili [€/unità*tempo].

Sebbene l'espressione del costo totale ricavata sia semplice, la restrizione che $T_m = Q_m/(\lambda-\gamma)$ deva essere un intero multiplo di $T_r = Q_r/\gamma$, complica la determinazione del valore ottimo per Q_m e Q_r . In pratica, per il calcolo del valore ottimo, si rilassa il vincolo di interezza $\frac{T_m}{T_r} = 1, 2, \dots$

ottenendo un rilassamento continuo del problema di programmazione lineare mista intera originario. Rimuovendo tale vincolo, inoltre, il valore del costo totale rimane sostanzialmente inalterato.

Minimizzando l'espressione del costo totale $TC^A(Q_m, Q_r)$, si ottengono le seguenti formule di tipo EOQ per i lotti Q_m e Q_r :

$$Q_m^A = \sqrt{\frac{2K_m(\lambda-\gamma)}{h_s}} \quad , \quad Q_r^A = \sqrt{\frac{2K_r\gamma}{h_r - h_s + (2\gamma/\lambda)h_s}}$$

Equazione 3-3

Si noti che Q_m^A si riduce alla tradizionale formula EOQ per $\gamma=0$ (solo produzione), e che Q_r^A si riduce alla classica formula EOQ per $\gamma=\lambda$ (solo rifabbricazione). Tuttavia nel caso in cui il tasso di domanda e di ritorno siano uguali, cioè quando si ha $\gamma=\lambda$, non è detto che si abbia solo rifabbricazione perché potrebbero essere necessari, nel breve periodo, alcuni lotti di produzione per evitare eccessive consegne in ritardo (*backlog*). Poiché l'analisi precedente riguarda il lungo periodo, i risultati ottenuti sono validi in ogni caso.

Caso B: T_r intero multiplo di T_m

Si dimostra facilmente che il costo totale di gestione delle scorte, dato dalla somma del costo di mantenimento e del costo di set-up, funzione di Q_m e Q_r ha la seguente espressione:

$$TC^B(Q_m, Q_r) = \frac{(\lambda - \gamma)K_m}{Q_m} + \frac{\gamma K_r}{Q_r} + h_s \left[\left(1 - \frac{\gamma}{\lambda}\right) \left(\frac{Q_m}{2}\right) + \left(\frac{\gamma}{\lambda}\right) \left(\frac{Q_r}{2}\right) \right] + h_r \left(\frac{Q_r}{2}\right)$$

Equazione 3-4

Come nel caso A si ignora la restrizione che $T_r = Q_r/\gamma$ deve essere un multiplo intero di $T_m = Q_m/(\lambda - \gamma)$ e si determinano i valori di Q_m e Q_r che minimizzano la funzione $TC^B(Q_m, Q_r)$, ottenendo così le seguenti formule di tipo EOQ per il caso B:

$$Q_m^B = \sqrt{\frac{2K_m\lambda}{h_s}} \quad , \quad Q_r^B = \sqrt{\frac{2K_r\gamma}{h_s\gamma/\lambda + h_r}}$$

Equazione 3-5

Anche in questo caso le formule trovate per la produzione e la rifabbricazione si riducono alla tradizionale formula EOQ per $\gamma=0$ ovvero per $\gamma=\lambda$ rispettivamente.

Il tipo di politica scelta e le formule EOQ associate (con il caso A ed il caso B) possono essere determinate confrontando $TC^A(Q_m^A, Q_r^A)$ e $TC^B(Q_m^B, Q_r^B)$. Tuttavia è più semplice, e di maggiore praticità, lavorare con una sola coppia di formule EOQ senza dover calcolare i costi ad esse associati. Inoltre nei problemi stocastici per i quali saranno utilizzate le formule, il caso A ed il caso B non presentano differenze significative. È possibile quindi utilizzare una sola coppia di formule EOQ, da utilizzare in tutti i casi possibili, scelta in base alle seguenti argomentazioni:

- dalle espressioni ottenute si osserva che i valori Q_m^A e Q_m^B sono quasi uguali se il rapporto γ/λ è piccolo e, differiscono

considerevolmente solo se il tasso di ritorno γ è elevato. Inoltre si dimostra che in situazioni con tasso di ritorno elevato le politiche con più lotti di rifabbricazione rispetto ai lotti di produzione, come nel caso A, sono spesso preferibili. Per tali motivi è possibile utilizzare la formula EOQ per il controllo PUSH nel caso A in tutte le situazioni possibili, vale a dire:

$$Q_m^* := Q_m^A = \sqrt{\frac{2K_m(\lambda - \gamma)}{h_s}}$$

Equazione 3-6

- Analogamente al caso precedente, Q_r^A e Q_r^B sono approssimativamente uguali se il tasso γ/λ è alto e, differiscono considerevolmente solo se il tasso di ritorno γ è piccolo. In situazioni con un tasso di ritorno basso le politiche con più lotti di produzione per lotti di rifabbricazione, come nel caso B, sono spesso preferibili. Quindi si può utilizzare la formula EOQ per il controllo PUSH nel caso B in tutte le situazioni possibili, cioè:

$$Q_r^* := Q_r^B = \sqrt{\frac{2K_r\gamma}{h_s\gamma/\lambda + h_r}}$$

Equazione 3-7

Formule EOQ per il controllo PULL

L'analisi del sistema è simile a quella svolta per il controllo PUSH. Si considera un sistema deterministico con flussi di domanda e ritorno continui ed espressi dai tassi λ e γ rispettivamente. Anche in questo caso si considera nullo il lead time ($L=0$) perché esso non ha influenza sull'ottimizzazione dei parametri Q_m e Q_r . Nella Figura 3-11 e nella Figura 3-12 sono illustrati il *caso A* (T_m intero multiplo di T_r) ed il *caso B* (T_r intero multiplo di T_m) per il

controllo PULL. Si noti che l'andamento temporale delle scorte nella Figura 3-12 è identico a quello mostrato nella Figura 3-9 per il *caso B* nel controllo PUSH, ma l'interpretazione è differente: il controllo è di tipo push nel primo caso e di tipo pull nel secondo.

Caso A: T_m intero multiplo di T_r

Il costo totale di gestione delle scorte in funzione di Q_m e Q_r , dato dalla somma del costo di mantenimento e del costo di set-up ha la seguente espressione:

$$TC^A(Q_m, Q_r) = \frac{(\lambda - \gamma)K_m}{Q_m} + \frac{\gamma K_r}{Q_r} + h_s \left[\left(1 - \frac{\gamma}{\lambda}\right) \left(\frac{Q_m}{2}\right) + \left(\frac{\gamma}{\lambda}\right) \left(\frac{Q_r}{2}\right) \right] + h_r \left(\frac{\gamma}{\lambda}\right) \left(\frac{Q_m + Q_r}{2}\right)$$

Equazione 3-8

Uguagliando a zero la derivata prima di tale funzione si ricavano i valori di Q_m e Q_r che minimizzano il costo totale TC^A (formule EOQ per il caso A):

$$Q_m^A = \sqrt{\frac{2K_m(\lambda - \gamma)}{\gamma/\lambda h_r + (1 - \gamma/\lambda)h_s}} \quad , \quad Q_r^A = \sqrt{\frac{2K_r\gamma}{h_r + h_s}}$$

Equazione 3-9

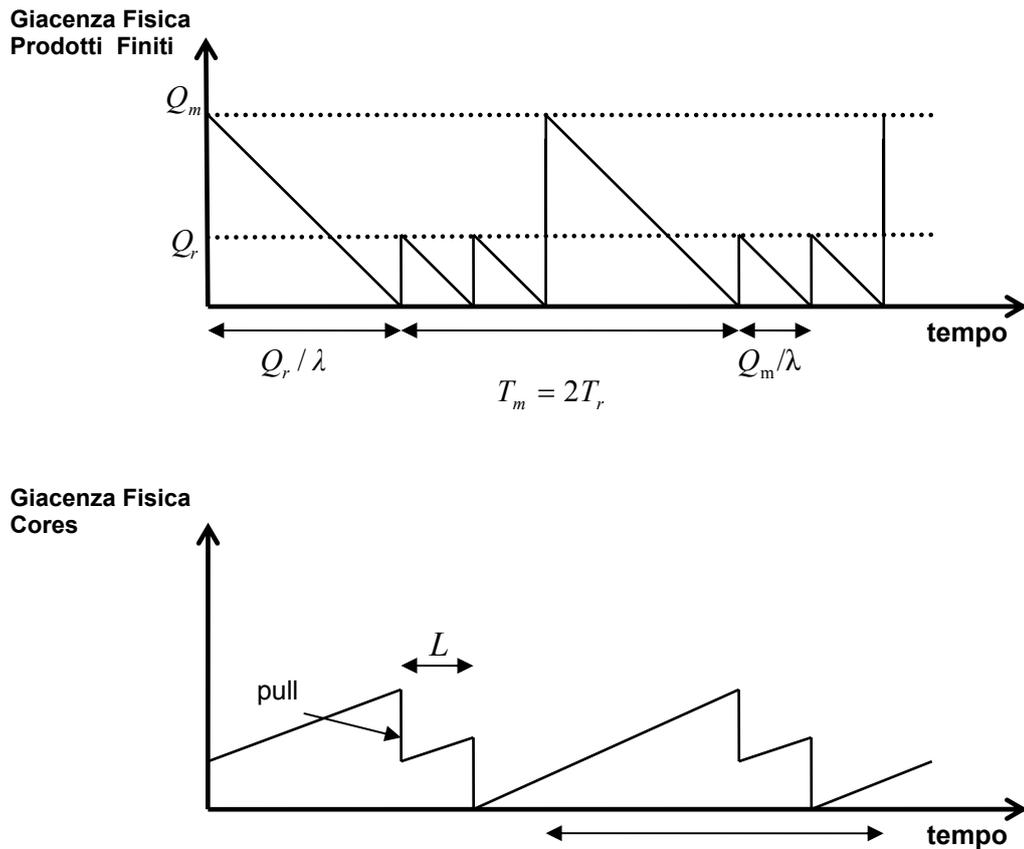


Figura 3-11: Andamento temporale delle scorte in un sistema PULL con domanda e ritorno deterministici. Caso A: T_m intero multiplo di T_r . (van der Laan, et al., 2006)

Caso B: T_r intero multiplo di T_m

Come sopra riportato, l'andamento temporale delle scorte in questo caso non differisce da quello del caso B per il controllo PUSH. Quindi le espressioni delle formule EOQ sono equivalenti a quelle ricavate per il controllo PUSH:

$$Q_m^B = \sqrt{\frac{2K_m\lambda}{h_s}} \quad , \quad Q_r^B = \sqrt{\frac{2K_r\gamma}{h_s\gamma/\lambda + h_r}}$$

Equazione 3-10

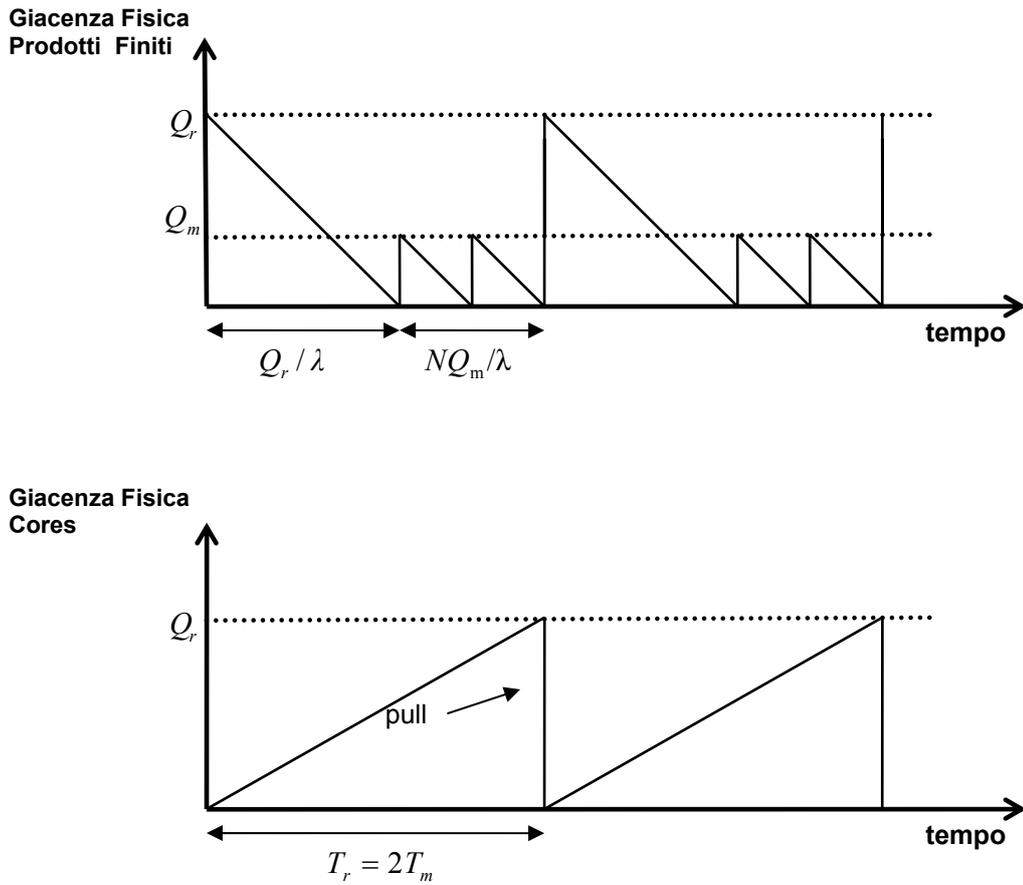


Figura 3-12: Andamento temporale delle scorte in un sistema PULL con domanda e ritorno deterministici. Caso B: T_r intero multiplo di T_m (van der Laan, et al., 2006)

Usando argomentazioni simili a quelle riportate per il controllo PUSH, è possibile adottare una sola coppia di formule EOQ valida in tutti i casi possibili, vale a dire:

$$Q_m^* := Q_m^A = \sqrt{\frac{2K_m(\lambda - \gamma)}{\gamma/\lambda h_r + (1 - \gamma/\lambda)h_s}} \quad , \quad Q_r^* := Q_r^B = \sqrt{\frac{2K_r\gamma}{h_s\gamma/\lambda + h_r}}$$

Equazione 3-11

POLITICHE DI GESTIONE DELLE SCORTE NEI SISTEMI DI RIFABBRICAZIONE

Nei sistemi di rifabbricazione le attività di gestione dei materiali e della produzione, rispetto al caso della produzione tradizionale, sono complicate da una serie di aleatorietà relative alla quantità, qualità, timing dei prodotti/componenti recuperabili. Tale instabilità rende non univoca, oltre che più complicata, la definizione di una politica ottima di controllo delle scorte.

In questo capitolo, dopo aver passato in rassegna i modelli proposti in letteratura per la gestione ed il controllo dei materiali nei sistemi di rifabbricazione, è stata proposta una particolare politica di gestione dei materiali e delle attività di produzione per un modello generale di un sistema ibrido di rifabbricazione. Tale modello considera diversi livelli di immagazzinamento dei materiali. Il confronto, in diversi scenari ed al variare di diversi parametri di costo, di tale politica con altre, già presenti in letteratura, permette di individuare in quali condizioni una politica sia preferibile alle altre.

4.1 Analisi dello stato dell'arte

Per affrontare i problemi di gestione delle scorte all'interno di sistemi di rifabbricazione, si ricorre a modelli che ne forniscano una rappresentazione schematica e, in generale, semplificata.

Secondo le ipotesi assunte alla base dei modelli, è possibile distinguere tra modelli deterministici e stocastici. Giova sottolineare che, in linea di massima, i modelli stocastici risultano di maggiore interesse, sia da un punto di vista teorico *che* da quello pratico, in quanto riescono a descrivere meglio le reali condizioni di funzionamento del sistema. Tali modelli possono essere suddivisi in tre categorie:

- modelli di bilanciamento del flusso di cassa (*cash balancing models*)²⁸;
- modelli a revisione periodica (*sistemi a riordino periodico*);
- modelli a revisione continua (*sistemi a punto d'ordine*).

La differenza fondamentale tra tali categorie è che nei primi due non vengono considerati i tempi di attraversamento del sistema, mentre nei modelli a revisione continua ne esiste una modellazione esplicita.

4.1.1 Modelli a revisione periodica

Kiesmuller e van der Laan (Kiesmüller, et al., 2001) hanno analizzato un sistema di rifabbricazione, per un singolo prodotto, in cui si ipotizza che la domanda ed il ritorno dei prodotti siano variabili aleatorie. Nel modello, il recupero dei prodotti dipende esplicitamente dal flusso di domanda, è presente un solo magazzino per i prodotti finiti, si tiene conto dei lead-time e si considera un orizzonte finito di pianificazione. Un prodotto viene smaltito (con una certa probabilità) se non sono soddisfatti i requisiti di qualità per la rifabbricazione (*smaltimento non pianificato*). Lo studio dimostra che non tenere conto della dipendenza tra domanda e recupero di prodotti può portare ad un aumento dei costi totali medi del sistema.

²⁸ Per una trattazione esaustiva dei modelli si veda (Inderfurth, 2004).

B. Mahadevan et al. (2003) propongono una politica PUSH a revisione periodica per la gestione di un sistema ibrido di rifabbricazione in cui sia la domanda che il recupero dei prodotti sono variabili aleatorie. L'obiettivo è di individuare la dimensione del lotto di rifabbricazione e di produzione. Poiché non è possibile individuare analiticamente i parametri della politica ottima, gli autori sviluppano delle procedure euristiche basate su modelli classici di gestione delle scorte, valutando le caratteristiche del sistema al variare del tasso di ritorno dei prodotti, dei costi di backorder e dei lead-time di produzione e rifabbricazione.

4.1.2 Modelli a revisione continua

Un primo studio sui modelli in questione (van der Laan, et al., 1996a) ha riguardato un sistema di rifabbricazione di un singolo prodotto, con un solo magazzino in cui vengono stoccati i prodotti finiti (*serviceable inventory*). I prodotti recuperati che eccedono la capacità del sistema vengono smaltiti (*disposal*) e si ipotizza che tutti i prodotti recuperati soddisfino i requisiti di qualità per la rifabbricazione. La domanda ed il ritorno dei prodotti sono variabili aleatorie di Poisson indipendenti con tassi di domanda e di ritorno stazionari. Se la domanda non viene soddisfatta si hanno dei costi di penuria per vendite in ritardo (backorder). Il confronto fra diverse strategie di controllo delle scorte dimostra che per minimizzare i costi totali del sistema lo smaltimento deve aver luogo quando il livello di scorta disponibile supera un valore di soglia o quando il numero di prodotti in attesa di essere rifabbricati raggiunge uno specifico valore, funzione dalla capacità del processo di rifabbricazione.

A partire dallo stesso modello vengono proposte una strategia con rifabbricazione e smaltimento pianificato dei prodotti ed una procedura di ottimizzazione euristica per il controllo delle scorte (van der Laan, et al., 1996b).

Successivamente (van der Laan, et al., 1997), viene preso in considerazione un sistema ibrido con un ulteriore magazzino destinato ad accogliere esclusivamente i prodotti da rifabbricare (*remanufacturable inventory*). La domanda ed il ritorno dei prodotti sono modellati come variabili

aleatorie correlate ed i lead-time di produzione e di rifabbricazione vengono considerati costanti. Vengono confrontate due strategie alternative: *Push-disposal* e *Pull-disposal* (Figura 4-1).

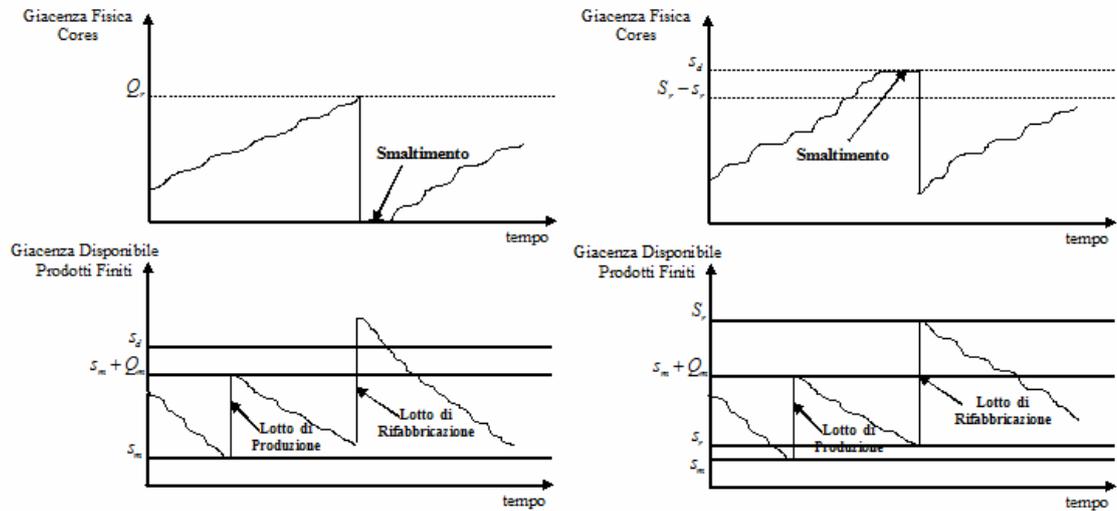


Figura 4-1: Strategie Push-disposal e Pull-disposal (van der Laan, et al., 1997)

Gli esperimenti condotti sul sistema hanno dimostrato che:

- i sistemi con smaltimento dei prodotti sono economicamente vantaggiosi perché riducono la variabilità nelle scorte del sistema. La differenza di costo tra i sistemi aumenta all'aumentare del tasso di ritorno dei prodotti;
- la scelta tra le strategie in analisi dipende dalla struttura dei costi dei due magazzini: la strategia *Pull-disposal* risulta economicamente vantaggiosa quando il valore del magazzino di prodotti rifabbricabili è inferiore al valore del magazzino prodotti finiti;
- entrambe le strategie non sono “robuste” al variare dei tassi di domanda e di ritorno dei prodotti.

Studi volti a verificare gli effetti della durata e della variabilità dei *lead-time* sul costo totale atteso del sistema, prevedendo strategie di gestione Pull o Push prive di smaltimento (van der Lann, et al., 1999), evidenziano che: le variazioni nella durata dei lead time di produzione hanno maggiore influenza sui costi del sistema rispetto alle variazioni di durata dei lead time di rifabbricazione;

in alcuni casi un incremento dei lead time di rifabbricazione può portare ad un decremento dei costi totali del sistema; il costo del sistema aumenta all'aumentare della variabilità dei lead time di rifabbricazione, ma non aumenta all'aumentare della variabilità dei lead time di produzione.

Un confronto con i sistemi tradizionali di produzione (van der Lann, et al., 1999) ha, inoltre, dimostrato che la maggior complessità dei sistemi di rifabbricazione è dovuta anche alla correlazione esistente tra la domanda e ritorno di prodotti e tra output dei processi di produzione e rifabbricazione. A causa di quest'ultima, in particolare, risulta estremamente difficoltoso il controllo del *serviceable inventory*, soprattutto se il lead time di rifabbricazione è diverso dal lead time di produzione o di approvvigionamento esterno. In tali condizioni un aumento del lead time di rifabbricazione potrebbe portare ad una diminuzione dei costi del sistema (van der Laan, et al., 2000). Per riuscire a controllare gli effetti del lead time di rifabbricazione sul sistema, bisognerebbe adoperare tale lead time come variabile decisionale anche se appare poco chiaro come, nella pratica industriale, si possa far variare il lead time di rifabbricazione per coordinare l'ingresso dei lotti di produzione e di rifabbricazione nel magazzino dei prodotti finiti.

Un controllo più efficace del magazzino prodotti finiti è tuttavia possibile ricorrendo a due variabili il cui andamento sia legato ai lead-time di produzione e di rifabbricazione. Utilizzando tale approccio il costo totale del sistema può diminuire soprattutto per grandi differenze tra i suddetti lead-time (Kiesmuller, 2003).

Per lead-time variabili stocasticamente, il ricorso ad una politica di ordinazione con due fonti di approvvigionamento (*dual sourcing*), in cui ogni ordine viene ripartito tra i processi di produzione e rifabbricazione, potrebbe consentire una notevole riduzione dei costi del sistema (Tang, et al., 2005).

Fleischmann et al. (2002) analizzano le politiche di controllo da adottare e l'influenza del flusso di ritorni sul sistema, nel caso in cui la domanda ed il recupero dei prodotti siano variabili aleatorie indipendenti e vi sia un solo magazzino da controllare. Per lo stesso sistema viene successivamente proposto

un algoritmo di ottimizzazione per calcolare i parametri di controllo di una politica che prevede il ricorso ad un livello di riferimento (*order up to level*) da ripristinare non appena si raggiunge uno specifico livello di riordino (*order level*) (Fleischmann, et al., 2003).

Teunter e Vlachos (2002) ricorrendo ad un sistema ibrido a tempo discreto, con orizzonte di pianificazione finito e controllato con una politica Pull a punto d'ordine, dimostrano che se il tasso di domanda è mediamente superiore al tasso di ritorno dei prodotti e se il processo di rifabbricazione risulta economicamente vantaggioso, l'opzione di smaltimento pianificato porta esclusivamente ad un incremento della complessità del sistema, verificando riduzioni di costo significative solo nel caso in cui il tasso di ritorno sia maggiore del tasso di domanda.

Espressioni in forma chiusa per ottimizzare i parametri di controllo di politiche Push o Pull per la gestione delle scorte in sistemi ibridi di rifabbricazione sono invece proposte da van der Laan e Teunter (Teunter, et al., 2000). Lo studio si limita, tuttavia, a lead-time di produzione e rifabbricazione uguali e costanti.

Takashi et al (2007) hanno modellato un sistema ibrido in cui il magazzino di prodotti da rifabbricare è analizzato ad un livello di dettaglio maggiore, in particolare sono considerati tre livelli di magazzino per i prodotti recuperati. I prodotti recuperati vengono disassemblati, secondo un processo stocastico, e classificati in scarti da smaltire, materie prime da avviare ai processi di produzione di nuove parti, e parti destinate alla fabbricazione di nuovi prodotti. Per gestire il sistema gli autori propongono due politiche di controllo di tipo *Push*²⁹, confrontate utilizzando procedure di calcolo basate sull'utilizzo delle catene di Markov a tempo continuo. Al variare di alcuni parametri di costo si dimostra che controllando il sistema con la politica *Push 2* il costo totale del sistema è sempre inferiore. In particolare all'aumentare del tasso di domanda, il

²⁹ Nel primo caso la produzione ex novo di parti ed il recupero delle stesse sono processi indipendenti. Questo potrebbe determinare un eccesso di smaltimento delle parti. La seconda politica proposta punta al miglioramento del controllo delle parti del sistema introducendo un secondo limite di controllo alla produzione delle parti.

costo totale atteso di entrambe le politiche aumenta poiché un incremento della domanda porta ad un aumento della produzione di parti e di prodotti con conseguente aumento dei costi di produzione e del costo di penuria (aumento degli *stock-out*). All'aumentare del tasso di recupero, poi, il costo totale atteso di entrambe le politiche aumenta poiché un incremento nel recupero dei prodotti porta ad un aumento dei materiali e delle parti nel sistema con conseguente aumento dei costi di mantenimento. All'aumentare del tasso di assemblaggio dei prodotti, infine, si ha un decremento dei costi poiché diminuisce il numero atteso di *stock-out*. Per lo stesso motivo si ha un decremento dei costi anche all'aumentare del tasso di produzione delle parti.

Nel modello proposto, tuttavia, non viene preso in considerazione il costo di set-up per la produzione di parti e prodotti. Tale costo potrebbe rendere meno conveniente la politica *Push 2* giacché è previsto un limite alla produzione delle parti con conseguente aumento del numero di fermate e di ripartenze e, quindi, del numero di set-up.

4.2 Modello logico, analitico e ipotesi di base

La complessità nella gestione dei sistemi di rifabbricazione potrebbe essere affrontata aumentando il livello di dettaglio dei modelli adottati ed individuando per questi attraverso l'ausilio di strumenti di simulazione al computer la politica di gestione più efficace. La necessità di un coordinamento più spinto fra i processi di rifabbricazione e produzione, infatti, richiede sofisticate politiche di controllo congiunto dei livelli inventariali dei vari magazzini rendendo impraticabili modellazioni analitiche del sistema.

Il modello logico del sistema ibrido di rifabbricazione considerato è un modello a più livelli di scorte simile a quello proposto da Takashi et al (2007). Il motivo di questa scelta risiede nel fatto che tale modello considera diversi magazzini corrispondenti alle diverse tipologie di scorte che si presentano normalmente nei sistemi di rifabbricazione (Figura 4-1).

Per tale sistema si vuole individuare, in diversi scenari legati alle varie fasi del ciclo di vita di un prodotto, la politica di controllo più efficace al variare di alcuni parametri di costo. In particolare, verrà confrontata la prestazione in termini di costo di una particolare politica *Pull* con le politiche *Push* proposte da Takashi et al (2007).

4.2.1 Modello logico

Per il modello considerato (Figura 4-2), si assume che non ci sia differenza tra prodotti ottenuti tramite processo produttivo diretto e prodotti ottenuti utilizzando parti e materiali recuperati.

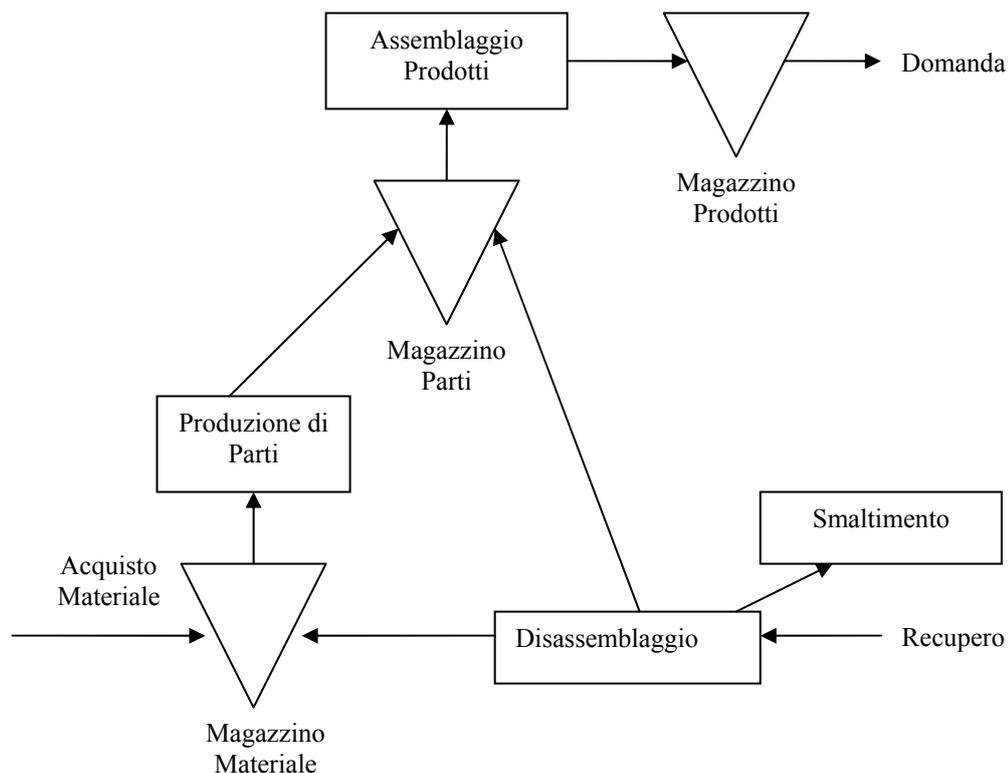


Figura 4-2: Sistema ibrido caratterizzato dall'esplosione del "remanufacturable inventory". (Takahashi, et al., 2007)

Dal processo di disassemblaggio di un prodotto recuperato, è possibile ottenere un'unità di materie prime, una parte, oppure una parte e un'unità di materie prime. Il costo di penuria è ritenuto pari alla domanda persa. Le parti

ottenute dai prodotti recuperati sono stoccate nello stesso magazzino in cui si depositano le parti prodotte ex novo mentre i materiali ottenuti dai prodotti recuperati sono stoccati nello stesso magazzino in cui si depositano i lotti di materie prime acquistati all'esterno. La domanda, il recupero di prodotti, la produzione di prodotti e, la produzione di parti, seguono un processo stocastico di Poisson di parametri rispettivamente: $\lambda_d, \lambda_r, M_p, M_{pa}$. Lo smaltimento dei prodotti avviene con tasso pari a λ_{dis} e sono riutilizzati come parti, materiali, o parti e materiali contemporaneamente, con tassi pari a $\lambda_{pa}, \lambda_m, \lambda_{pam}$, rispettivamente ($\lambda_r = \lambda_{dis} + \lambda_{pa} + \lambda_m + \lambda_{pam}$). Un lotto di materie prime di dimensione pari ad ε viene acquistato quando il magazzino delle parti si svuota. Il lead time di approvvigionamento dei materiali è considerato pari a zero.

La politica di controllo di tipo *Pull* sarà confrontata con quelle di tipo *Push* proposte da Takashi et al (2007) che sono caratterizzate come segue:

Politica *Push 1*:

- *Produzione dei prodotti finiti.* Si interrompe quando il magazzino dei prodotti finiti raggiunge il limite superiore γ , oppure quando il magazzino delle parti si svuota;
- *Produzione delle parti.* Si interrompe quando il magazzino delle parti raggiunge il limite superiore β , oppure quando il magazzino dei materiali si svuota;
- *Acquisto dei materiali.* Un lotto pari ad ε è acquistato quando il magazzino dei materiali si svuota;
- *Smaltimento dei materiali e/o delle parti.* Quando il magazzino dei materiali o il magazzino delle parti, raggiungono il limite superiore α o β , rispettivamente.

I parametri di controllo di tale politica sono: $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$.

Politica *Push 2*:

Tale politica differisce dalla precedente solo per:

- *Produzione delle parti*. Si ferma quando il magazzino delle parti raggiunge il limite superiore δ (con $\delta < \beta$), oppure quando il magazzino dei materiali si svuota.

I parametri di controllo di tale politica sono: α , β , γ , δ , ε .

Politica *Pull*:

La politica *Pull* lega l'attivazione dei processi di produzione dei prodotti, delle parti e dell'acquisto dei materiali alla presenza di una domanda esterna. In particolare:

- *Produzione dei prodotti finiti*: l'attivazione del processo di produzione dei prodotti finiti, si attiva solo quando il livello di giacenze nel magazzino prodotti finiti è inferiore ad un prefissato *Livello di Riordino* (variabile di controllo del magazzino prodotti finiti);
- *Produzione delle parti*: l'attivazione del processo di produzione di parti solo in presenza di una domanda esterna e qualora nel magazzino delle parti non fossero disponibili parti rifabbricate;
- *Acquisto dei materiali*: l'acquisto di un lotto di materiali si attiva solo quando si svuota il magazzino delle materie prime (assenza di recupero di materiali) ed è necessario attivare la produzione di una parte (assenza di recupero di parti e richiesta di un prodotto finito).

La politica PULL proposta ha il vantaggio di riuscire a controllare la produzione di parti senza dover introdurre una variabile di controllo come avviene nella politica PUSH 2.

4.2.2 Funzione obiettivo

Le tre politiche esposte verranno confrontate rispetto al costo totale atteso di gestione del sistema per unità di tempo:

$$C = h_x E_x + h_y E_y + h_z E_z + c_r E_r + c_d E_d + c_{pa} E_{pa} + c_p E_p + h_b E_b$$

Equazione 4-1

dove³⁰:

h_x = costo unitario di mantenimento per il magazzino dei materiali;

h_y = costo unitario di mantenimento per il magazzino delle parti;

h_z = costo unitario di mantenimento per il magazzino dei prodotti;

c_r = costo unitario di penuria;

c_d = costo unitario di smaltimento;

c_{pa} = costo unitario di produzione delle parti;

c_p = costo unitario di produzione dei prodotti;

h_b = costo unitario di acquisto dei materiali;

E_x = quantità attesa di materiale stoccato;

E_y = quantità attesa di parti stoccate;

E_z = quantità attesa di prodotti stoccati;

E_r = numero atteso di stock-out;

E_d = numero atteso di unità smaltite;

E_{pa} = numero atteso di parti fabbricate;

E_p = numero atteso di prodotti fabbricate;

E_b = quantità attesa di materiale acquistato.

Ovviamente la funzione obiettivo sopra proposta dipende dai parametri di controllo definiti nell'ambito di ciascuna politica. L'ottimizzazione della precedente funzione richiede il ricorso a tecniche di tipo meta-euristico data la complessità del problema stesso.

³⁰ I costi sono espressi in [€/unità·tempo].

4.3 Costruzione del modello di simulazione

Allo scopo di verificare gli effetti sul costo totale di gestione del sistema delle diverse politiche sopra esposte, si è proceduto alla modellazione del sistema proposto in Figura 4-2 tramite il software di simulazione ARENA 8.0. In particolare per massimizzare la funzione obiettivo è stato utilizzato il tool *OptQuest* di ARENA 8.0.

4.3.1 Modelli per le politiche Push 1 e Push 2 e Pull

Nel caso specifico delle politiche *Push* già proposte da Takashi et al. (2007), si è proceduto adoperando 5 moduli per rappresentare i processi di approvvigionamento esterno di materiali, recupero e disassemblaggio dei prodotti, produzione delle parti, assemblaggio dei prodotti e per simulare la domanda di prodotti finiti. I tre magazzini presenti nel sistema sono stati modellati utilizzando dei blocchi *Hold* di tipo “*infinite hold*” mentre il processo di smaltimento è stato simulato ricorrendo ad un blocco *Dispose* (Figura 4-3).



Figura 4-3: Sottomoduli del modello di simulazione

In Figura 4-4 è riportato il *submodel* di Recupero dei *core*. Il primo blocco funzionale utilizzato è il modulo *Create* utilizzato per modellare il *recupero dei materiali*, il *recupero delle parti*, il *recupero di parti e materiali* e, lo *smaltimento dei prodotti*. Questo modulo è il punto di partenza per le entità in un modello di simulazione. Le entità sono create usando una schedulazione degli

eventi oppure ci si basa su una distribuzione di probabilità che deve avere come input dei parametri. Nel caso considerato, i tempi di arrivo delle entità al sistema seguono una distribuzione di tipo esponenziale.

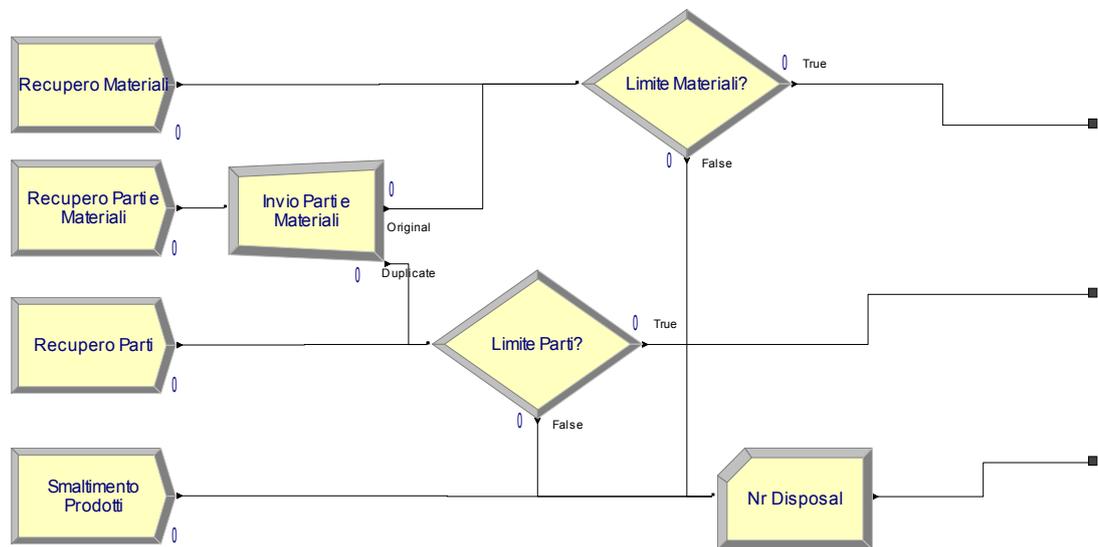


Figura 4-4: Modulo di Recupero e smaltimento dei core.

Il secondo modulo utilizzato è il blocco *Separate* utilizzato per modellare il recupero contemporaneo di una parte ed un materiale (Invia Parti e Materiali); tale modulo separa un'entità in una o più entità che continuano ad essere processate dal sistema. Il blocco *Decide* è utilizzato per modellare i limiti di capacità dei magazzini superati i quali i materiali o le parti vengono smaltiti. A tal fine si definiscono le due variabili *Livello Materiali* e *Livello Parti* che rappresentano i limiti α e β definiti in precedenza. Per contare il numero di prodotti smaltiti è utilizzato un blocco *Record* che rappresenta un contatore ad incremento che scatta di un'unità quando un'entità lo attraversa.

Il modulo relativo all'acquisto dei materiali (Figura 4-5) prevede il ricorso ad un modulo *Hold* di tipo *Scan for Condition*: impostando la condizione che il magazzino dei materiali sia in stock-out, tale blocco invia un lotto di materie prime quando si svuota il corrispondente magazzino.

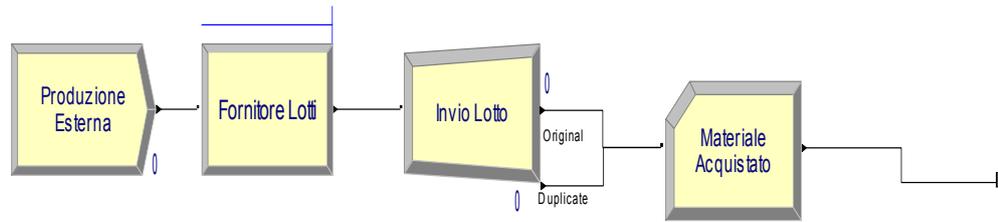


Figura 4-5: Modulo Acquisto Materiale.

Il blocco indicato come *Materiale Acquistato* è un *Record* che conta la quantità di materiale che è stata acquistata all'esterno.

La regola di priorità imposta al modulo di produzione parti (*Seize*, *Delay* e *Release*) è del tipo *FIFO* (Figura 4-6). Il blocco funzionale indicato con il nome *Ingresso Parti*, è un blocco *Remove* e ha la funzione di aggiornare il livello di scorta del magazzino dei materiali dopo la produzione di una parte; esso rimuove un'entità dal magazzino materiali e la invia al magazzino delle parti. I due blocchi *Decide* verificano la condizione di avvio della produzione data dalla disponibilità di materiali nel magazzino materiali e dal limite di capacità del magazzino delle parti definito dalla variabile *Livello Parti* nella politica *Push 1*, e dalla variabile *Livello Produzione Parti* (sempre minore del *Livello Parti*) per la politica *Push 2*. Un blocco *Record* (indicato come *Parti Prodotte*), infine, conta le parti che vengono prodotte.

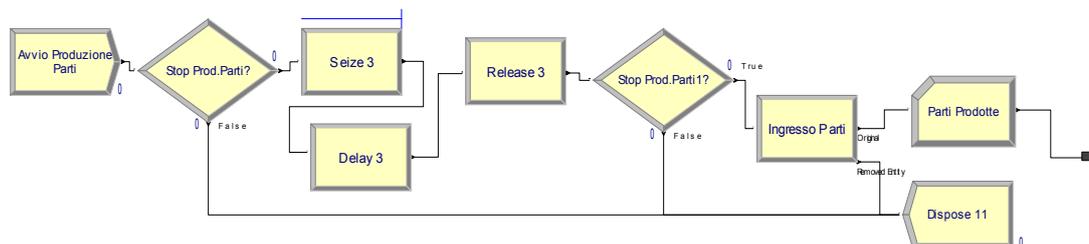


Figura 4-6: Modulo di Produzione Parti

Il funzionamento del modulo relativo all'assemblaggio (Figura 4-7) è analogo al modulo di produzione delle parti. Nell'assemblaggio il vincolo da rispettare per l'avvio del processo è dato dalla disponibilità di parti e dal limite di capacità del magazzino prodotti finiti (variabile *Livello Prodotti*).

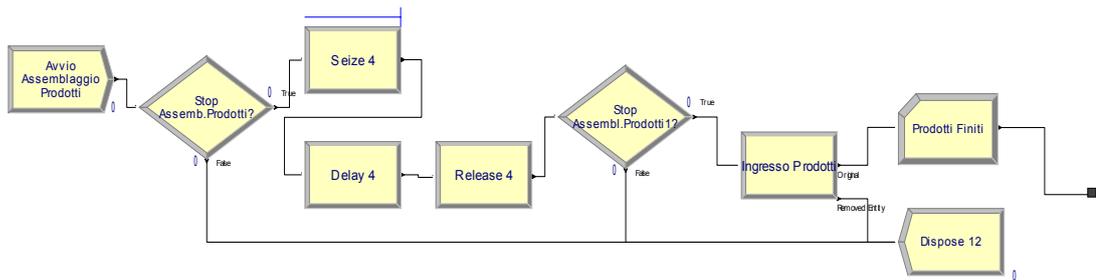


Figura 4-7: Modulo di Assemblaggio Prodotti

Il sub-modello utilizzato per generare la domanda esterna non è direttamente collegato ai precedenti sub-modelli tramite punti d'entrata-uscita (Figura 4-8). Il modulo *Create* indicato come *Domanda* rappresenta gli ordini dei clienti (la domanda) in ingresso nel sistema. Il modulo *Decide*, suddivide le entità in base al verificarsi o no dell'evento "presenza di unità nel magazzino dei prodotti finiti". Nel caso in cui ci sia disponibilità di prodotti finiti, la domanda è soddisfatta (ramo superiore). Invece nel caso in cui non ci sia disponibilità di prodotti a magazzino la domanda viene persa (ramo inferiore). Nel ramo superiore un blocco *Remove* rimuove un'entità dal magazzino prodotti finiti e la fa uscire dal sistema inviandola al blocco *Dispose*. Nel ramo inferiore, invece, un blocco *Record* conta le vendite perse facendo scattare un costo di penuria.

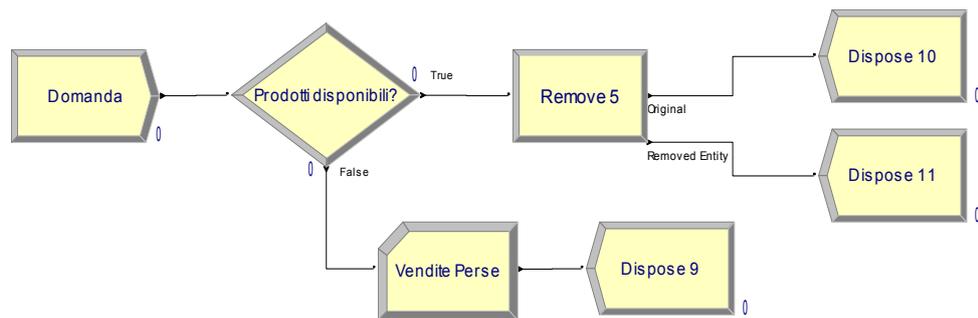


Figura 4-8: Modulo della Domanda

Il modello per la gestione di tipo *Pull* del sistema è riportato in Figura 4-9.

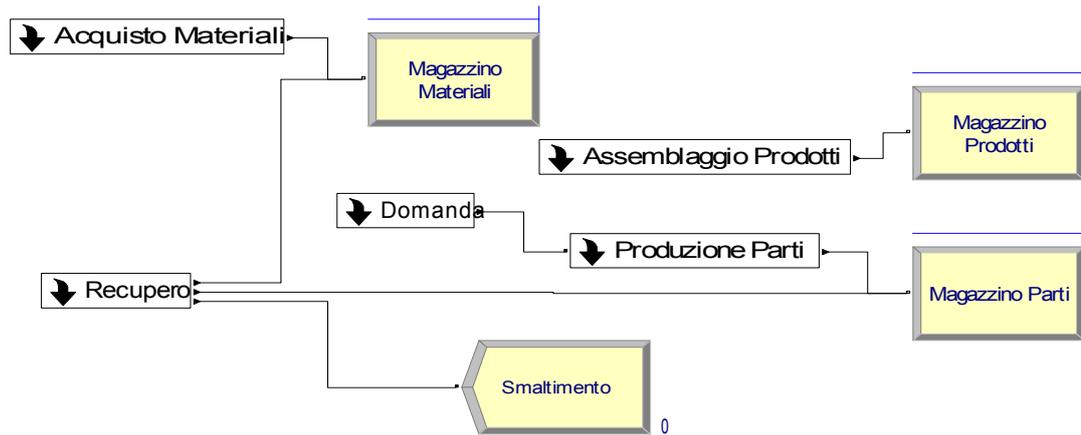


Figura 4-9: Modello per la politica PULL

4.3.2 Verifica e validazione del modello

Il modello è stato verificato e validato tramite analisi delle tracce. È stato valutato prima il funzionamento dei singoli moduli e successivamente quello dell'intero modello (Kelton, et al., 2001). Un'ulteriore conferma della validità del modello proviene dalla successiva analisi dei risultati prodotti.

4.3.3 Durata e numero delle iterazioni

Nello stimare il valore della variabile di prestazione a regime è stato necessario considerare un periodo transitorio. In particolare, si è proceduto per *iterazioni indipendenti*.

La lunghezza del transitorio è stata scelta in base al numero medio della lunghezza delle code, ricorrendo alla procedura di Welch ed adoperando un intervallo di confidenza del 95% (Kelton, et al., 2001). Nei casi esaminati la precisione della stima è stata ritenuta soddisfacente in quanto il rapporto tra la semiampiezza e la media del campione si posiziona al di sotto dell'1%. Attraverso l'*Input Analyzer* di *Arena* è stato, infine, valutato l'adattamento dei valori della variabile di prestazione ad una distribuzione normale (Kelton, et al., 2001).

In seguito all'analisi delle diverse code, è stata scelta una durata del transitorio pari a 60 giorni. Ogni esperimento è stato simulato per un arco

temporale di 260 giorni e replicato 15 volte. Quindi le statistiche sono calcolate per 200 giorni in ogni singolo esperimento.

4.3.4 Procedura di ottimizzazione

L'ottimizzazione della funzione di costo è stata effettuata rispetto alle variabili di controllo delle diverse politiche. I range adoperati in *OptQuest* entro cui far variare tali parametri sono stati scelti considerando come valore minimo, un valore della variabile per il quale il controllo associato alla variabile risultava sempre attivo e come massimo un valore in cui il controllo non era mai attivo.

Per l'ottimizzazione dei parametri di controllo del modello, è scelto un fissato numero di iterazioni come criterio di terminazione. Dopo aver effettuato diverse prove utilizzando come criterio di terminazione 2000 iterazioni, è stata verificata la convergenza del valore della funzione obiettivo dopo circa 300 iterazioni. Tale valore è stato preso a riferimento per ottenere, per ogni set di parametri, i valori ottimali dei parametri di controllo.

4.4 Analisi del modello

I modelli costruiti per le tre politiche di gestione dei magazzini verranno confrontati rispetto al valore assunto dalla funzione costo totale in condizioni ottimali in diversi scenari e per diversi valori dei costi significativi del sistema.

4.4.1 Scelta degli scenari e dei valori dei parametri del modello

Prendendo a riferimento il ciclo di vita di un prodotto rifabbricabile, i modelli sono stati confrontati in tre scenari caratterizzati da un differente rapporto tra i tassi di domanda e di ritorno (Figura 4-10).

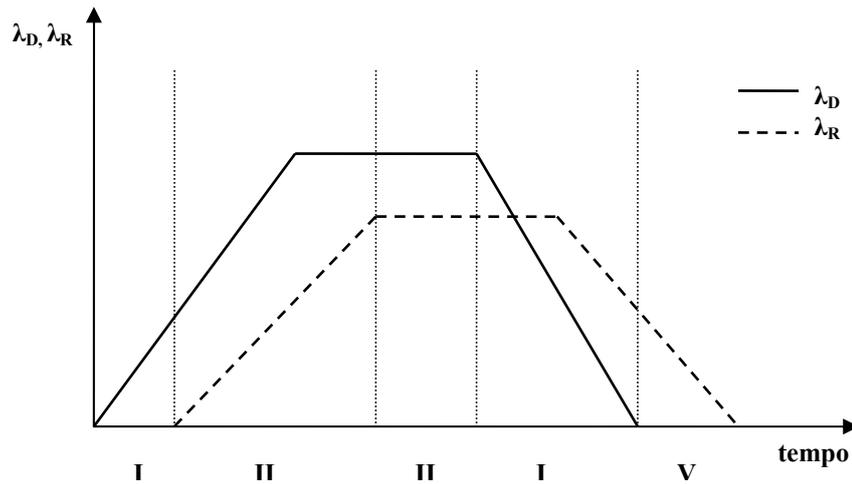


Figura 4-10: Andamento dei tassi di domanda e di recupero nel ciclo di vita di un prodotto rifabbricabile.

I valori del tasso di domanda³¹ e del tasso di recupero al variare degli scenari ipotizzati sono riportati in Tabella 4-1.

Tabella 4-1: Scenari per il confronto delle politiche di gestione delle scorte.

	λ_D	λ_R
Scenario 1	8	6
Scenario 2	6	6
Scenario 3	4	6

Per quanto riguarda le caratteristiche del flusso di ritorno, i tassi di recupero dei materiali, il tasso di recupero delle parti ed il tasso di smaltimento, rimangono costanti nei tre scenari ipotizzati. Altri fattori che non variano al variare degli scenari ipotizzati sono i lead time produttivi (tasso di utilizzazione medio degli impianti costante), il costo di assemblaggio dei prodotti ed il costo di acquisto di materie prime. In Tabella 4-2 sono riportati i valori dei parametri che rimangono costanti nei tre scenari ipotizzati.

³¹ I parametri adoperati nel modello sono stati determinati in accordo con la letteratura esistente con particolare riferimento a prodotti elettrici ed elettronici, come ad esempio cellulari e fotocopiatrici.

Tabella 4-2: Valori adoperati per i parametri fissi del sistema

$M_p=9$
$M_{pa}=8$
$\lambda_{pa}=2$
$\lambda_m=2$
$\lambda_{pam}=1$
$\lambda_{dis}=1$
$C_p=10$
$C_b=5$

I fattori di costo considerati sono il costo di mantenimento per i tre magazzini, il costo di penuria, il costo di smaltimento ed il costo di produzione delle parti.

La tecnica di pianificazione delle prove sperimentali utilizzata è di tipo *one factor at a time (OFAT)*. Si parte da uno scenario base variando uno alla volta i diversi fattori considerati.

I valori dei parametri di costo nello scenario base (*basic setting*) sono riportati nella Tabella 4-3.

Tabella 4-3 – Parametri di costo nel *basic setting*

Costo di mantenimento (materiali, parti, prodotti finiti)	$h_x=0.5$	$h_y=0.7$	$h_z=1^{32}$
Costo di penuria	$C_r=20$		
Costo di produzione parti	$C_{pa}=5$		
Costo di smaltimento	$C_d=20$		

È stato utilizzato un piano a 16 esperimenti, in cui i quattro fattori di costo considerati hanno rispettivamente 5, 4, 4 e 3 livelli (Tabella 4-4).

Tabella 4-4: Piano degli esperimenti (in grassetto il *basic setting*)

Fattore	Livelli				
Costo Mantenimento (%)	10	15	20	25	30
Costo Smaltimento	20	30	40	50	
Costo Produzione Parti	5	10	15	20	
Costo Penuria	20	30	40		

³² Si osservi che in base alle ipotesi fatte il costo di mantenimento dei materiali è pari al 50% del costo di mantenimento dei prodotti finiti; ed il costo di mantenimento delle parti è pari al 70% del costo di mantenimento dei prodotti finiti.

Si noti che in Tabella 4-4 il costo di mantenimento (dato dalla somma dei costi di mantenimento dei tre magazzini) è stato espresso come percentuale del costo totale per ognuno dei livelli considerati. Per i cinque livelli considerati per il costo di mantenimento, la relazione tra coefficienti di costo ed incidenza percentuale è riportata in Tabella 4-5.

Tabella 4-5 – Coefficienti di costo al variare del costo di mantenimento percentuale

Costo Mantenimento (%)	Fattori di costo		
	h_x	h_y	h_z
10	0,5	0,7	1
15	1,5	2	3
20	2,5	3,5	5
25	4	5,5	8
30	6	8	12

Ogni esperimento è stato ripetuto per le tre politiche (*Push 1*, *Push 2* e *Pull*) e per i tre scenari, per un totale di 144 esperimenti. Inoltre nello *Scenario I* e nello *Scenario II* sono stati effettuati ulteriori 36 esperimenti³³ per valutare l'effetto di un aumento congiunto del costo di mantenimento e del costo di penuria sulle politiche di controllo del sistema. Il totale degli esperimenti effettuati è dunque di 180 (144+36).

4.4.2 Analisi dei risultati

Per ogni condizione sperimentale, è stata valutata la differenza percentuale tra le due politiche migliori (PUSH 2 e PULL):

$$\Delta_{\text{costo}} \% = \frac{(C_{\text{PUSH2}} - C_{\text{PULL}})}{C_{\text{PULL}}} * 100$$

Equazione 4-2

Per stabilire la significatività di tale differenza, è stato utilizzato un approccio del tipo *paired-t confidence interval*. Il test è stato effettuato

³³ Nello Scenario I è stato valutato l'aumento del costo di penuria in corrispondenza di un costo di mantenimento del 20%, del 25% e del 30% (per un totale di 27 esperimenti) mentre nello Scenario II è stato valutato l'aumento del costo di penuria in corrispondenza di un costo di mantenimento del 15% (9 esperimenti).

utilizzando l'Output Analyzer di Arena, scegliendo un $\alpha=0.05$ (Kelton, et al., 2001)³⁴.

Tabella 4-6 – Risultati esperimenti (Scenario I – Parte I)

Costo Mantenimento (%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto (%)
10	176	143	153	-6,53594771
15	191	160	164	-2,43902439
20	201	174	170	2,35294118
25	212	192	182	5,49450549
30	229	213	198	7,57575758
Costo Smaltimento	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	176	143	153	-6,53594771
30	220	173	177	-2,25988701
40	260	202	202	0***
50	315	230	230	0***
Costo Produzione Parti	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
5	176	143	153	-6,53594771
10	200	161	164	-1,82926829
15	220	179	176	1,70454545
20	242	196	190	3,15789474

Tabella 4-7 – Risultati esperimenti (Scenario I – Parte II)

Costo Penuria 1 (Costo Mantenimento=10%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	176	143	153	-6,53594771
30	181	150	172	-12,7906977
40	187	156	195	-20
Costo Penuria 2 (Costo Mantenimento=20%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	201	174	170	2,35294118
30	215	189	196	-3,57142857
40	232	204	221	-7,69230769
Costo Penuria 3 (Costo Mantenimento=25%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	212	192	182	5,49450549
30	223	208	207	0,48309179
40	235	224	230	-2,60869565
Costo Penuria 4 (Costo Mantenimento=30%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	229	213	198	7,57575758
30	248	234	227	3,08370044
40	267	258	255	1,17647059

³⁴ Le differenze contrassegnate con ***, non sono risultate significative in seguito al test effettuato.

Tabella 4-8 – Risultati esperimenti (Scenario II)

Costo Mantenimento (%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
10	151	119	124	-4,03225806
15	171	142	138	2,89855072
20	193	163	152	7,23684211
25	219	184	165	11,5151515
30	244	204	177	15,2542373
Costo Smaltimento	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	151	119	124	-4,03225806
30	181	152	149	2,01342282
40	210	183	177	3,38983051
50	239	216	205	5,36585366
Costo Produzione Parti	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
5	151	119	124	-4,03225806
10	169	136	135	0,74074074
15	187	152	146	4,10958904
20	214	168	155	8,38709677
Costo Penuria 1 (Costo Mantenimento=10%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	151	119	124	-4,03225806
30	155	124	133	-6,76691729
40	159	129	142	-9,15492958
Costo Penuria 2 (Costo Mantenimento=15%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	171	142	138	2,89855072
30	178	149	147	1,36054422
40	185	157	156	0,64102564

Tabella 4-9 – Risultati esperimenti (Scenario III)

Costo Mantenimento (%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
10	129	117	112	4,46428571
15	152	138	130	6,15384615
20	167	153	141	8,5106383
25	187	179	158	13,2911392
30	208	200	171	16,9590643
Costo Smaltimento	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	129	117	112	4,46428571
30	188	155	147	5,44217687
40	232	194	182	6,59340659
50	267	229	214	7,00934579
Costo Produzione Parti	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
5	129	117	112	4,46428571
10	141	128	119	7,56302521
15	155	139	125	11,2
20	171	151	131	15,2671756
Costo Penuria (Costo di mantenimento = 10%)	PUSH 1	PUSH 2	PULL	Δcosto(%)
20	129	117	112	4,46428571
30	132	120	117	2,56410256
40	136	124	122	1,63934426

Dalla Figura 4-11 si deduce che nello scenario I la politica *Push 1* ha valori di costo sempre superiori a quelli delle altre due politiche poiché non essendo presente alcun tipo di controllo sul processo di produzione delle parti, la quantità di parti mantenute a scorta ed il numero di prodotti smaltiti è sempre superiore alle altre due politiche. Esiste un valore limite del costo di mantenimento (tra il 15% ed il 20%) oltre il quale la politica *Pull* comincia a diventare più conveniente della politica *Push 2*. Tuttavia, la differenza percentuale tra le due politiche non è elevata poiché nello scenario I il livello di giacenza di materiali, parti e prodotti finiti è basso.

Quando il costo di mantenimento raggiunge il 30% del costo totale, la soluzione ottima per le tre le politiche di gestione del sistema è individuata in corrispondenza di livelli di controllo unitari per i tre magazzini. In questi casi, conviene passare ad una configurazione del sistema di tipo *RATO* (si mantengono a scorta solo i materiali e le parti) o di tipo *RMTO* (si eliminano del tutto le giacenze dal sistema).

Tuttavia, per poter effettuare il cambio di configurazione è necessario che il cliente sia disposto ad attendere. Nel sistema ibrido che si sta analizzando si ipotizza che il cliente non sia disposto ad attendere. Nel sistema, infatti, non esiste una capacità di *backorder* ed il costo di penuria equivale ad una vendita persa.

SCENARIO I - Cm CRESCENTE

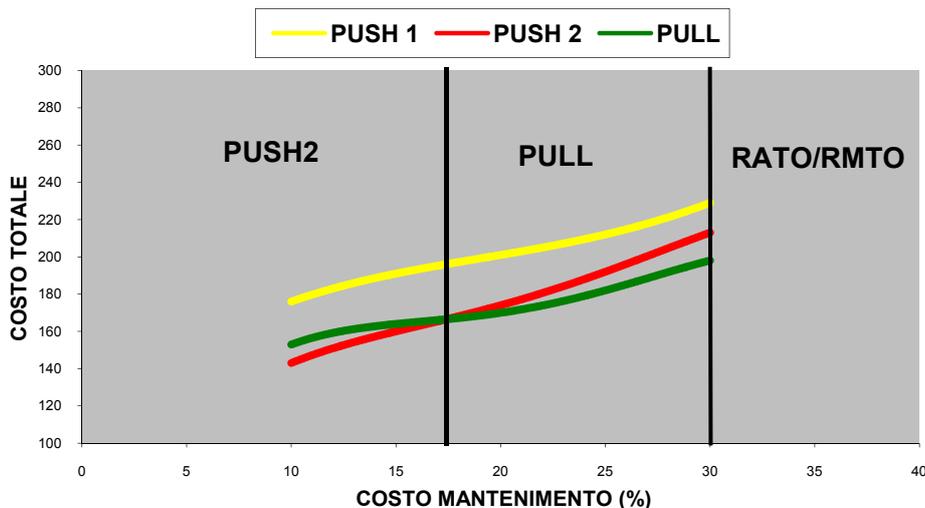


Figura 4-11: Variazione del costo totale rispetto al costo di mantenimento

Nella Figura 4-12 è riportato l'andamento del costo totale al variare del costo di smaltimento per lo scenario I. Sia la politica *Push 2* che quella *Pull* riescono a controllare bene il costo di smaltimento in quanto esiste un controllo sulla produzione di parti.

SCENARIO I

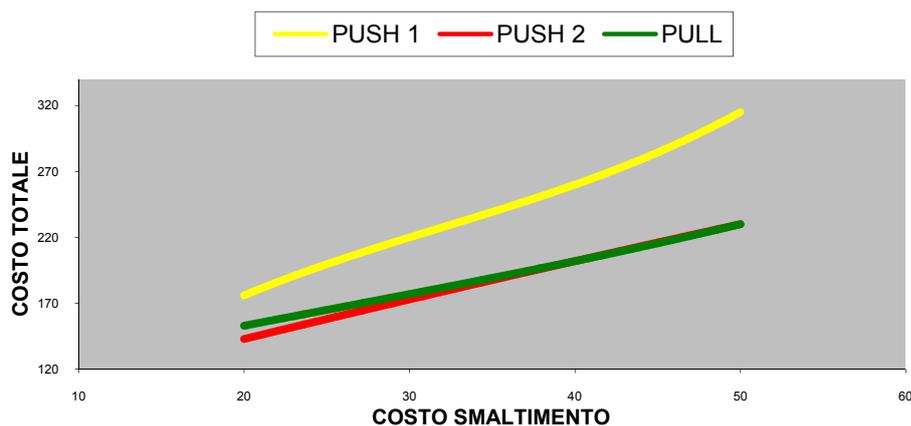


Figura 4-12: Variazione del costo totale rispetto al costo di smaltimento

Al crescere del costo di produzione delle parti, invece, la politica *Pull* risulta più efficace della politica *Push 2* anche se la differenza percentuale rimane bassa (Figura 4-13).

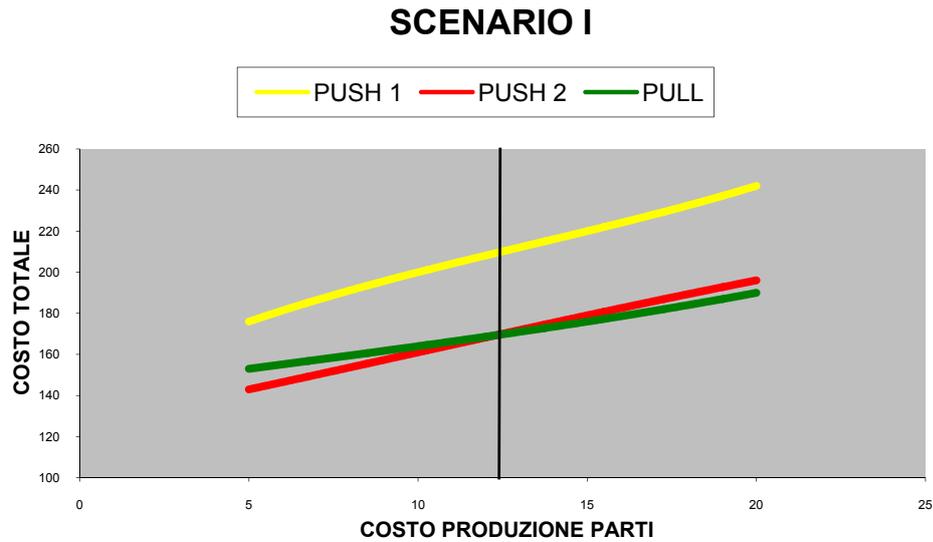


Figura 4-13: Variazione del costo totale rispetto al costo di produzione delle parti

In Figura 4-14, è riportato l'andamento del costo totale al variare del costo di penuria per i diversi costi di mantenimento, nel primo scenario. Il costo di penuria ed il costo di mantenimento sono i costi più significativi per il confronto tra le politiche. Per valori bassi del costo di mantenimento, come era lecito aspettarsi, aumentando il costo di penuria, la politica *Pull* determina incrementi di costo molto superiori rispetto alle politiche *Push*. Man mano che il costo di mantenimento aumenta (figure 4.15, 4.16, 4.17) l'effetto dell'aumento del costo di penuria sulla politica PULL si riduce. Quando il costo di mantenimento supera il 25% dei costi totali, anche aumentando di molto il costo di penuria, la politica *Pull* risulta più conveniente delle politiche di tipo *Push*.

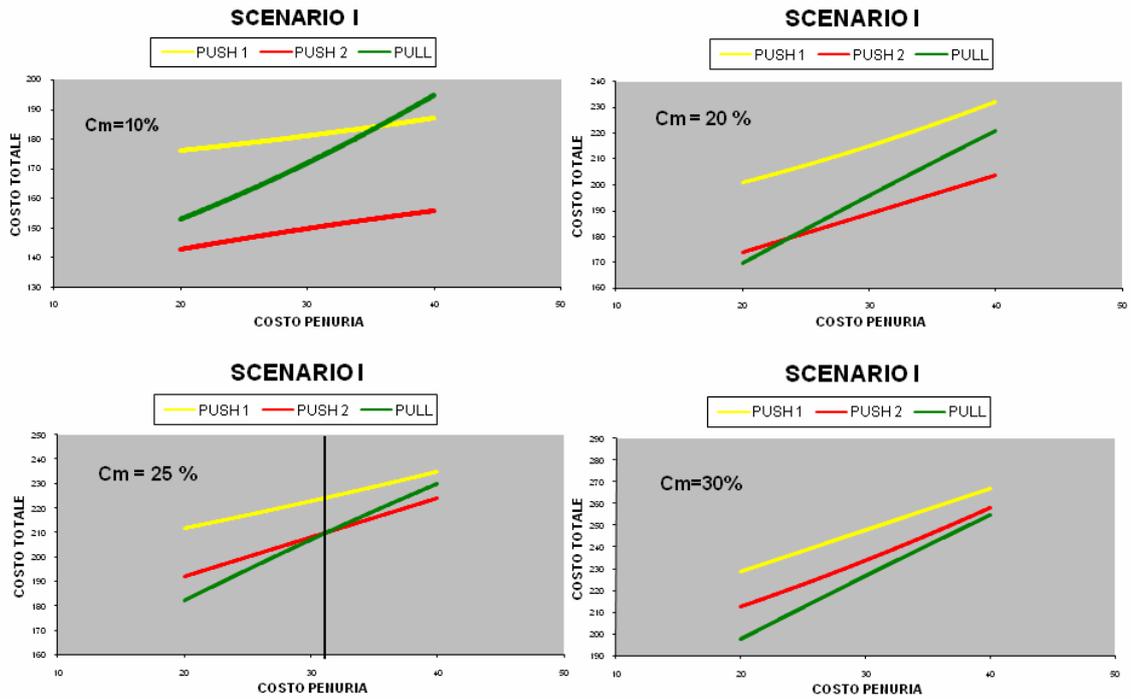


Figura 4-14: Variazione del costo totale rispetto al costo di penuria per differenti valori del costo di mantenimento

Tenendo conto dell'effetto congiunto dei fattori di costo considerati, nel primo scenario, la politica *Push 2* si dimostra efficace per valori del costo di mantenimento inferiori al 25% del costo totale, quella *Pull* per valori del costo di mantenimento compresi tra il 25% ed il 30% del costo totale, mentre superato il 30% del costo totale conviene passare ad un sistema di tipo *RATO* o di tipo *RMTO* (Figura 4-15).

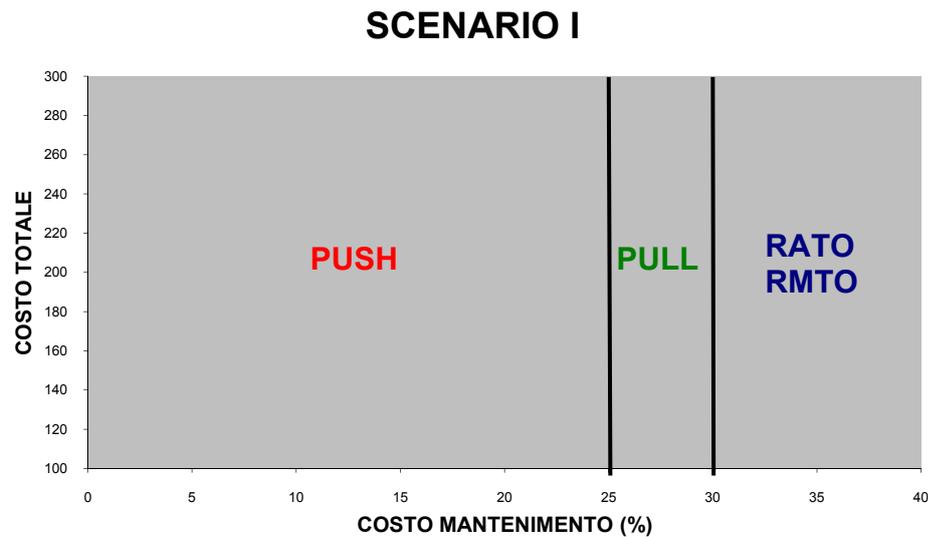


Figura 4-15: Scenario I- Politiche di gestione al variare del costo di mantenimento

In Figura 4-16 è riportato l'andamento del costo totale al variare del costo di mantenimento nel secondo scenario. Anche in questo caso, la politica *Push 1* determina costi di gestione sempre superiori a quelli delle altre politiche. Tuttavia, si riduce il valore limite del costo di mantenimento (tra il 10% ed il 15% del costo totale) oltre il quale la politica *Pull* diventa più conveniente della politica *Push 2*, così come più evidente diviene la differenza percentuale tra le due politiche. Tale andamento è giustificato dal fatto che il tasso di domanda è uguale al tasso di recupero e, quindi, all'aumentare del costo di mantenimento conviene adottare politiche che riducano la quantità di prodotti in giacenza.

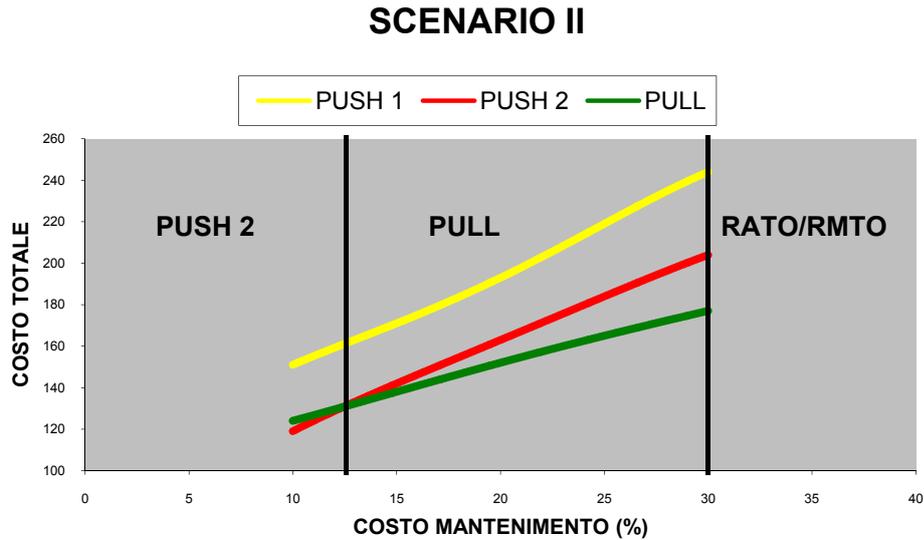


Figura 4-16: Variazione del costo totale rispetto al costo di mantenimento

Nella Figura 4-17 è riportato l'andamento del costo totale al variare del costo di smaltimento per il secondo scenario. All'aumentare del costo di smaltimento, la politica *Pull* si dimostra, in questo caso, più efficiente della politica *Push 2* anche se le differenze percentuali di costo non sono elevate. La pendenza delle tre curve è maggiore rispetto allo scenario precedente poiché maggiore è il numero di prodotti da smaltire al crescere del flusso di recupero.

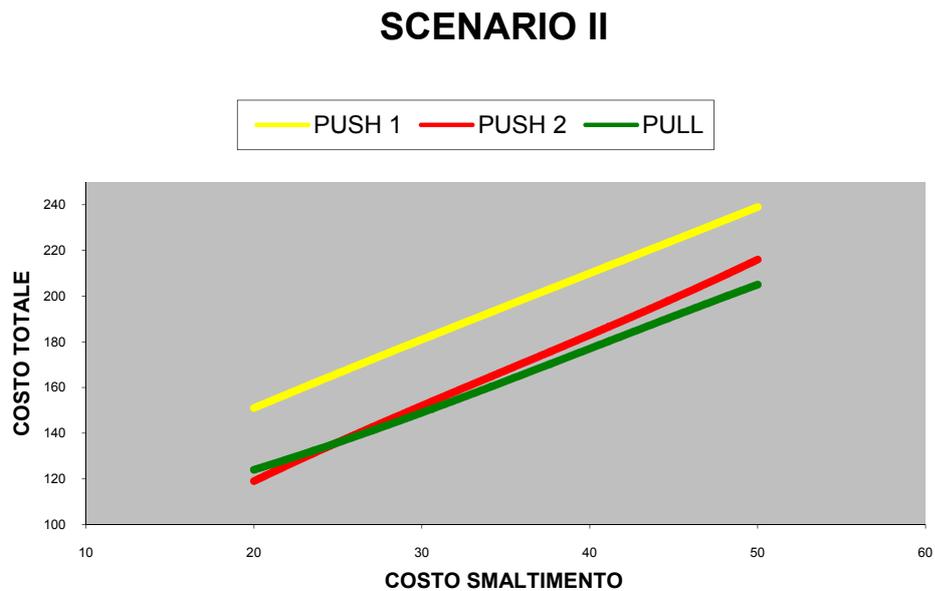


Figura 4-17: Variazione del costo totale rispetto al costo di smaltimento

Al crescere del costo di produzione delle parti, la politica *Pull* determina costi di gestione inferiori rispetto alla politica *Push 2*. Il punto di intersezione fra le due politiche è spostato più a sinistra rispetto al primo scenario (Figura 4-18). Inoltre la differenza percentuale tra le due politiche si incrementa soprattutto perché con politiche *Pull* si riesce a sfruttare meglio il ramo di rifabbricazione rispetto a quello produttivo.

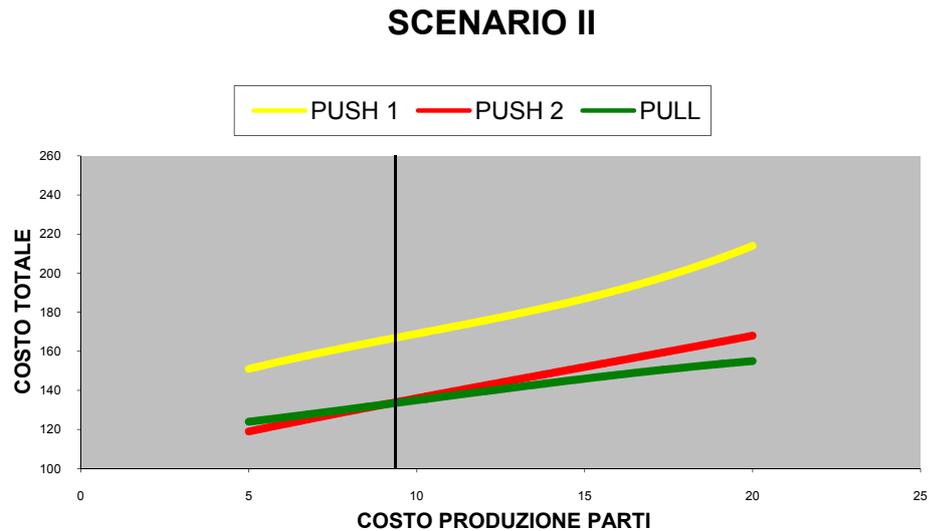


Figura 4-18: Variazione del costo totale rispetto al costo di produzione delle parti

In Figura 4-19 è riportato l'andamento del costo totale al variare del costo di penuria per valori del costo di mantenimento pari al 10% ed al 15% del costo totale. Nel secondo scenario il costo di penuria incide di meno sulle prestazioni offerte dalla politica *Pull* poiché il tasso di domanda è più basso rispetto al tasso di recupero ed è, quindi, inferiore il numero di vendite perse.

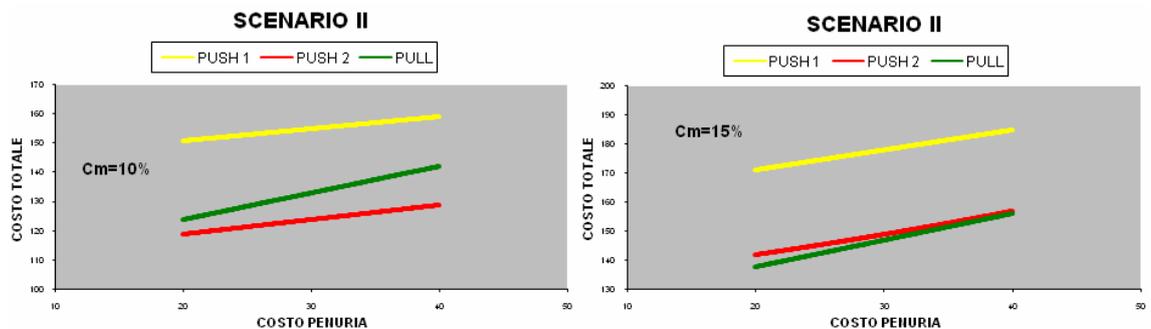


Figura 4-19: Variazione del costo totale rispetto al costo di penuria al variare del costo di mantenimento.

Tenendo conto dell'effetto congiunto dei fattori considerati, nel secondo scenario, è conveniente adottare la politica *Push 2* per valori del costo di mantenimento inferiori al 15% del costo totale; per valori del costo di mantenimento compresi tra il 15% ed il 30% del costo totale è preferibile adottare una politica *Pull*, mentre superato il 30% del costo totale conviene passare ad un sistema di tipo *RATO* o di tipo *RMTO* (Figura 4-20).

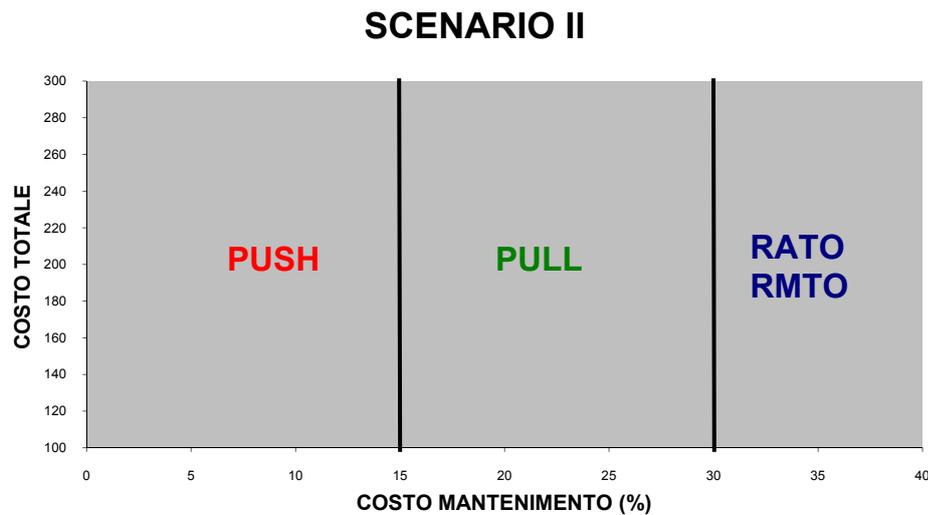


Figura 4-20: Politiche di gestione al variare del costo di mantenimento

Nel terzo scenario la politica *Pull* garantisce valori di costo inferiori a quelli delle altre due politiche qualunque sia il valore del costo di mantenimento (Figura 4-21). Inoltre la differenza percentuale tra le politiche *Push 2* e *Pull* è maggiore rispetto al secondo scenario. Il risultato è dovuto al fatto che il tasso di domanda è minore del tasso di recupero: in queste condizioni la politica *Pull*, riducendo la quantità di prodotti in giacenza, consente una miglior gestione dell'eccesso di prodotti nel sistema.

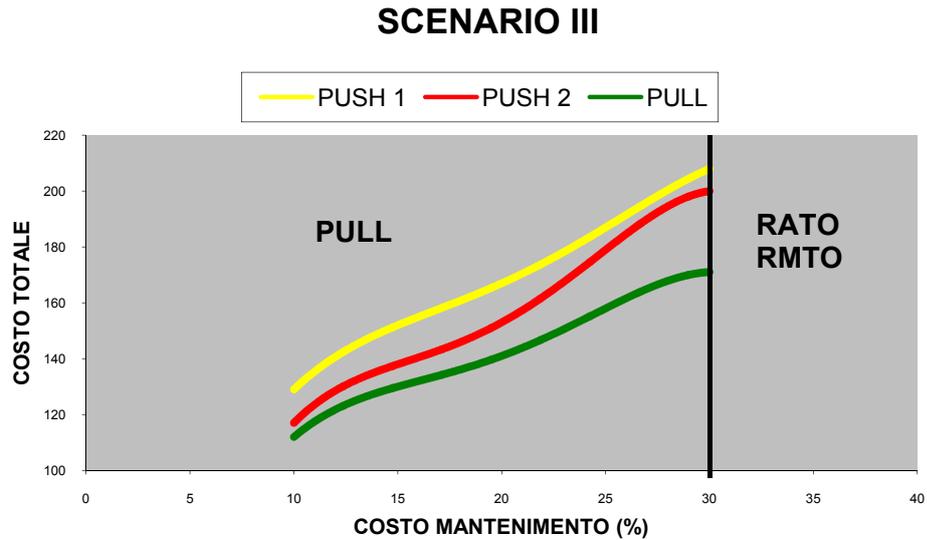


Figura 4-21: Variazione del costo totale rispetto al costo di mantenimento

All'aumentare del costo di smaltimento la politica *Pull* risulta più efficiente della politica *Push 2* con differenze percentuali di costo maggiori rispetto al secondo scenario (Figura 4-22). La pendenza delle tre curve è in questo molto elevata poiché il flusso di recupero è superiore rispetto agli altri scenari e, quindi, risulta elevato il numero di prodotti da smaltire.

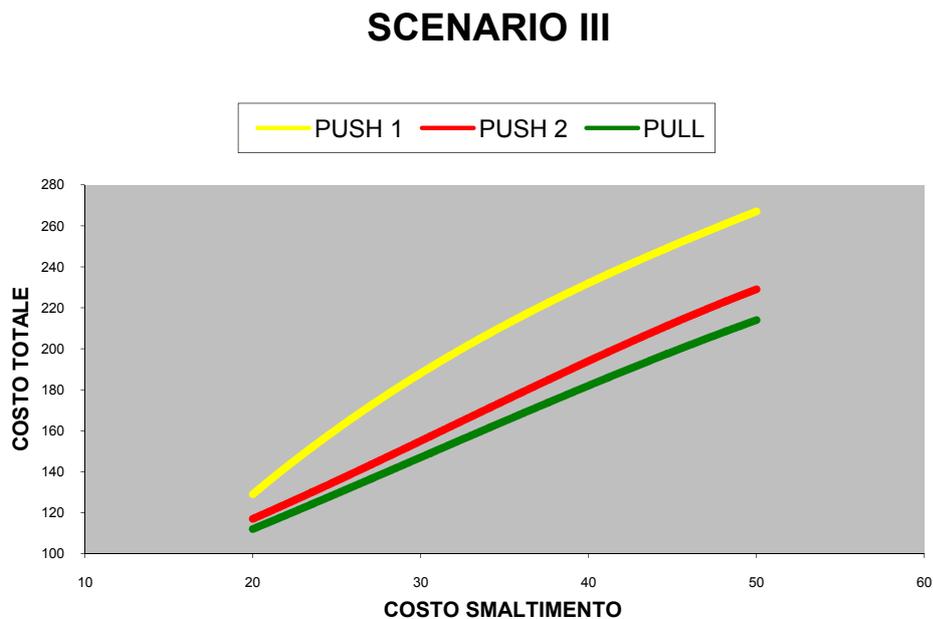


Figura 4-22: Variazione del costo totale rispetto al costo di smaltimento

Al variare del costo di produzione delle parti, la politica *Pull* risulta sempre più efficace della politica *Push 2* e, rispetto al secondo scenario, al crescere del costo di produzione delle parti è maggiore la differenza percentuale tra le due politiche (Figura 4-23). I risultati ottenibili grazie ad una politica *Pull* sono dovuti, essenzialmente, al fatto che la produzione delle parti viene avviata solo quando la domanda esterna lo richiede e non sono disponibili parti recuperate.

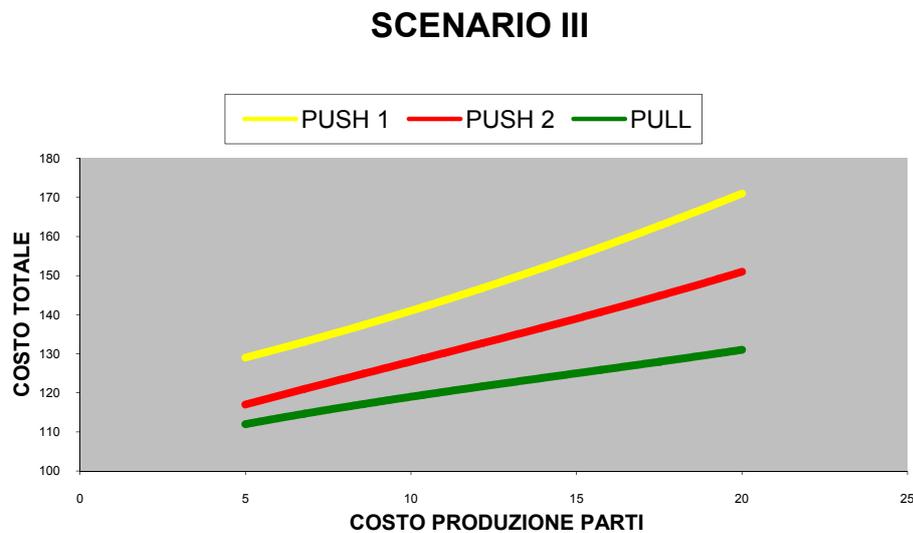


Figura 4-23: Variazione del costo totale rispetto al costo di produzione delle parti

Nel terzo scenario, l'effetto dovuto alla variazione del costo di penuria è valutata solo per la combinazione base dei fattori di costo poiché già a partire da un costo di mantenimento pari al 10% del costo totale, la politica *Pull* risulta migliore delle politiche *Push* per qualsiasi valore del costo di penuria (Figura 4-24). In tale scenario, infatti, il tasso di domanda è minore del tasso di recupero dei prodotti, il che giustifica anche la pendenza poco consistente delle curve.

Nella Figura 4-25 si sintetizzano i risultati ottenuti per il terzo scenario, tenendo conto dell'effetto congiunto delle variabili considerate. In particolare, conviene adottare la politica *Pull* per valori del costo di mantenimento inferiori al 30% del costo totale, mentre superata tale soglia è conveniente passare ad un sistema di tipo *RATO* o di tipo *RMTO*.

SCENARIO III

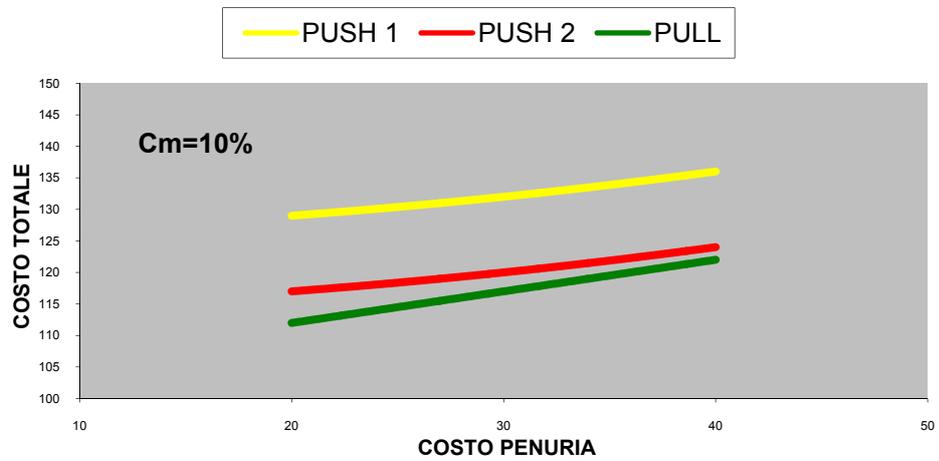


Figura 4-24: Variazione del costo totale rispetto al costo di penuria (costo di mantenimento al 10%)

SCENARIO III

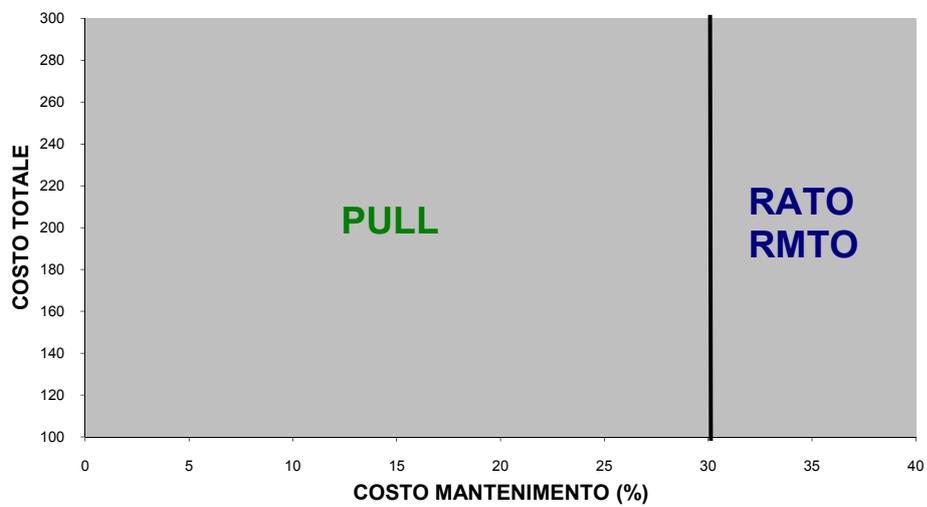


Figura 4-25: Politiche di gestione al variare del costo di mantenimento

4.5 Conclusioni

Nel presente capitolo è stato analizzato il problema della gestione delle scorte nella rifabbricazione. È stata proposta una politica di gestione delle scorte di tipo *Pull* alternativa a quelle di tipo *Push* presenti in letteratura. Per confrontare tali politiche sono stati effettuati esperimenti di simulazione su un modello di un sistema ibrido di rifabbricazione in tre possibili scenari legati al ciclo di vita di un prodotto rifabbricabile.

I risultati della simulazione mostrano che la definizione di una politica ottima di gestione nei sistemi di rifabbricazione non è univoca, anzi nelle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto è necessario assumere strategie di controllo diverse. La politica di controllo da scegliere dipende anche dall'incidenza percentuale del costo di mantenimento sul costo totale.

LA GESTIONE DEI MERCATI SECONDARI

Molti produttori di beni di largo consumo (OEM, *Original Equipment Manufacturers*), soprattutto di prodotti hi-tech, stanno da qualche anno sperimentando opzioni di recupero dei prodotti a fine vita che permettano di recuperare aliquote crescenti del loro valore aggiunto. La presenza congiunta di prodotti recuperati con alto valore residuo e della domanda di tali prodotti su mercati secondari, pone il management di fronte al dilemma di destinare tali unità al mercato secondario piuttosto che alla rifabbricazione e, quindi, al mercato primario.

Obiettivo di questo capitolo è quello di affrontare tale problema decisionale. Attraverso un modello di simulazione viene analizzato il comportamento di un sistema ibrido di rifabbricazione. In particolare, attraverso un'analisi di scenario, si individuano i fattori significativi per la prestazione del sistema e le condizioni strategiche ed operative in cui l'opzione vendita sul mercato secondario risulta più conveniente. Inoltre, è stato valutato nei vari scenari il valore del *prezzo di break-even* nel mercato secondario ed i fattori significativi nella definizione di tale parametro.

5.1 Introduzione

Negli ultimi decenni la pratica della rifabbricazione si è diffusa a settori industriali come quello delle apparecchiature elettriche ed elettroniche, cartucce per fotocopiatrici, elettrodomestici, telefoni cellulari e molti altri.

Sebbene le attività di rifabbricazione vengano spesso terziarizzate, alcuni produttori potrebbero scegliere di gestirle direttamente, dovendo coordinare, in questo caso, le attività di fabbricazione e di rifabbricazione.

La grande variabilità del livello qualitativo dei prodotti restituiti rappresenta la principale fonte di incertezza per i tempi di rifabbricazione e per i tassi di recupero del processo. Di conseguenza, il bilanciamento della domanda di prodotti rifabbricati con i prodotti restituiti diventa un problema estremamente complesso (Guide, 2000).

Per gestire tale variabilità e quella da questa indotta nei fabbisogni di risorse produttive e materiali, si rende necessaria a monte del processo di rifabbricazione l'ispezione/test dei ritorni allo scopo di assegnare un livello qualitativo convenzionale ai prodotti restituiti sulla base delle loro condizioni estetiche e funzionali.

La classificazione dei prodotti oltre a permettere, in molte situazioni, la riduzione del costo orario di funzionamento dell'impianto può generare nuove opportunità di mercato: i prodotti di qualità maggiore possano essere venduti "as-is" in mercati secondari o dopo semplici operazioni di rinnovo, senza la necessità di effettuare la rifabbricazione.

La presenza di due mercati, di una disponibilità limitata di capacità produttiva e di prodotti restituiti, pone un problema di mix ottimale di vendite. L'azienda deve scegliere opportunamente le quantità da destinare al mercato primario e al mercato secondario in modo da massimizzare il proprio profitto e mantenere un predeterminato livello di servizio sul mercato primario. A tal proposito, è necessario considerare il flusso di ritorno dei *core*, sia in termini di percentuale rispetto alla domanda sul mercato primario sia rispetto al mix dei diversi livelli qualitativi che lo compongono.

Bisogna considerare, poi, i diversi margini di profitto che si ottengono

dalla vendita di un prodotto nuovo nel mercato primario, di un prodotto rifabbricato nel mercato primario (tale margine dipende dal livello qualitativo del core rifabbricato; un core di qualità elevata presenta costi di rifabbricazione più bassi e di conseguenza permetterà di ottenere margini di profitto maggiori) e di un core di qualità elevata nel mercato secondario.

Infine un altro fattore che influenzerà il mix delle vendite, è il livello di saturazione dell'impianto funzione di scelte di dimensionamento che tipicamente considerano solo la produzione ex novo.

5.2 Analisi dello stato dell'arte

I filoni di ricerca, relativi a questo lavoro, riguardano l'analisi della prestazione di un sistema ibrido di rifabbricazione con classificazione dei prodotti restituiti e la presenza di mercati secondari in contesti di rifabbricazione. Per quanto riguarda il primo è possibile trovare in (Behret, et al., 2007) un'esaustiva analisi della letteratura. Viene, inoltre, sviluppato un modello di controllo delle scorte a più livelli per un sistema ibrido di rifabbricazione con l'obiettivo di valutare la convenienza di classificare i prodotti restituiti sulla base del loro livello qualitativo.

Nel prosieguo sarà, quindi, analizzato nel dettaglio lo stato dell'arte relativo ai mercati secondari in presenza di rifabbricazione.

La possibilità di vendere il prodotto “*as is*” dipende da diversi aspetti oltre che dalla presenza di una domanda per tale prodotto. In particolare, l'appetibilità di un bene è determinata dall'età, dal modello e dalle sue condizioni a fine vita.

Lo sviluppo dei mercati secondari, soprattutto per le apparecchiature elettriche ed elettroniche, è fortemente legato alla crescita della domanda di tali prodotti nei Paesi in via di sviluppo.

Per una determinata tipologia di prodotto è solitamente possibile segmentare il mercato rispetto a due caratteristiche il prezzo e la qualità. Di conseguenza, nell'ambito della rifabbricazione, i concetti di mercato primario e

secondario sono legati alle molteplici possibilità di recupero e ai differenti prezzi ai quali possono essere venduti i prodotti recuperati.

Le problematiche relative al mercato secondario sono state affrontate secondo ottiche diverse. Una serie di studi affronta il problema da un punto di vista logistico. Srivastava ha affrontato la stima e la gestione dei ritorni nei mercati secondari per diverse categorie di prodotti (Srivastava, et al., 2006), analizzando, in seguito, la progettazione di una rete di logistica inversa in grado di servire il mercato secondario determinando il numero e la posizione dei punti di raccolta dei prodotti restituiti (Srivastava, 2008). Souza et al. hanno studiato l'effetto sul profitto di una riduzione dei tempi di ritorno grazie a miglioramenti specifici del sistema logistico (Souza, et al., 2006). Robotis e Bhattacharya hanno analizzato l'impatto della rifabbricazione sul processo di acquisizione dei core per aziende operanti nei mercati secondari (Robotis, et al., 2005). Mitra ha analizzato il problema della definizione dei prezzi di vendita dei prodotti rifabbricati e messi a nuovo in modo da massimizzare il profitto (Mitra, 2007).

Heese e Cattani, così come Mont e Dalhammar, hanno valutato i benefici che un OEM può ottenere grazie al controllo del mercato secondario (Heese H.S., Cattani K., 2005; Mont O., Dalhammar C., 2006). Oraopoulos e Ferguson hanno analizzato l'opportunità, nel settore dell'Information Technology, di eliminare o no il mercato secondario attraverso tasse sul riutilizzo della licenza (Oraopoulos, et al., 2007).

Focalizzandosi sull'impatto della presenza dei mercati secondari sul sistema produttivo, Souza, Ketzenberg e Guide hanno analizzato il problema della pianificazione e controllo della produzione per un'azienda che vende su due mercati differenti, uno relativo ai prodotti rifabbricati e uno relativo a prodotti venduti *as-is* (Souza, et al., 2002).

5.3 Modello logico, analitico ed ipotesi di base

I sistemi di produzione in cui si svolgono sia attività di fabbricazione che di rifabbricazione sono definiti *sistemi ibridi di rifabbricazione* e vengono indicati con l'acronimo anglosassone HRMS. Il sistema di rifabbricazione qui presentato è basato sul modello generale riportato in Figura 5-1.

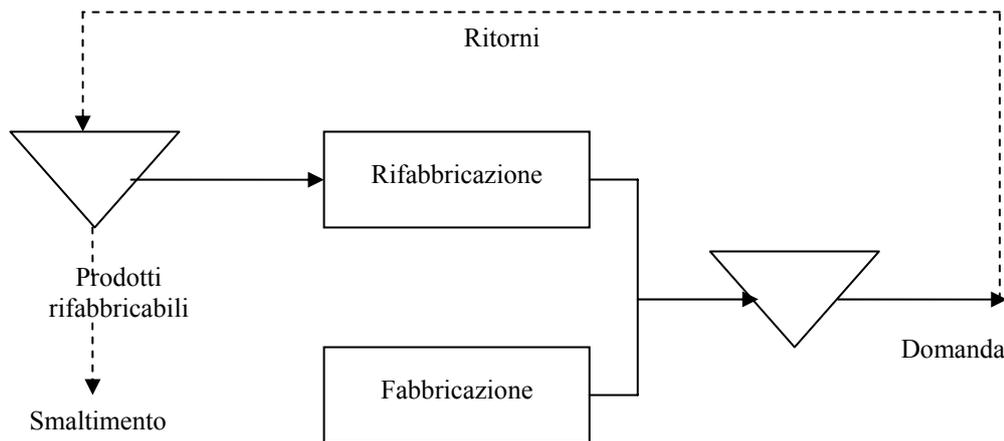


Figura 5-1: Rappresentazione schematica di un sistema ibrido di rifabbricazione (HRMS).

L'analisi si riferisce ad un produttore OEM che utilizzi un sistema ibrido di rifabbricazione in cui le operazioni di rifabbricazione sono svolte nello stesso impianto utilizzato per la fabbricazione, ciò comporta benefici dovuti a minori costi indiretti di produzione e maggiori tassi di utilizzo del sistema. Tuttavia, la condivisione di risorse rende più complesse le decisioni in merito al mix ottimale di prodotti nuovi e rifabbricati, soprattutto quando la capacità del sistema è limitata e il livello di servizio è un parametro critico (Souza, et al., 2002).

Il funzionamento del sistema prevede la preventiva classificazione e suddivisione del flusso di ritorno in tre gruppi caratterizzati da differenti livelli di qualità valutata in termini di stato d'usura e condizioni estetiche - funzionali del prodotto restituito. In seguito alla rifabbricazione tutti i prodotti avranno lo stesso livello qualitativo dei prodotti fabbricati *ex novo* e potranno essere venduti ad un prezzo P sul mercato primario. I ritorni classificati di alto livello qualitativo potranno essere venduti "as is" su un mercato secondario ad un prezzo minore p ($p < P$).

La differente qualità e la differenza di prezzo esistente tra prodotti nuovi o rifabbricati e quelli venduti *as-is*, rendono i due mercati indipendenti (Mitra, et al., 2007).

Per quanto riguarda il mercato primario, si assume che i beni prodotti riutilizzando componenti e materiali, siano percepiti “*as good as new*” dai consumatori. Questa assunzione, pur essendo in linea con la maggior parte della letteratura riguardante la rifabbricazione, non è sempre valida. Molto spesso, infatti, i prodotti rifabbricati sono venduti come alternative *low cost* delle nuove versioni. Ciò potrebbe avere due effetti, da un lato cannibalizzare le vendite di nuovi prodotti ma potrebbero anche essere in grado di estendere la base dei clienti dell’azienda grazie al miglioramento dell’immagine. Inoltre, ci potrebbe essere una domanda di mercato del prodotto rifabbricato anche quando il ciclo di vita del prodotto nuovo è terminato.

La disponibilità a pagare dei consumatori per un prodotto rifabbricato dipende dalla fiducia che ripongono nel soggetto che effettua la rifabbricazione: l’OEM, un secondo soggetto delegato dall’OEM o un’azienda indipendente. È probabile che l’OEM riesca ad ottenere una fiducia maggiore in quanto è in possesso di tutte le informazioni tecniche, della tecnologia e delle competenze necessarie per una rifabbricazione efficace (Michaud, et al., 2006).

Nell’analisi non verrà considerata la struttura del prodotto (BOM). Questa ipotesi è coerente con il tipo di valutazione che si vuole fare ed è tipica nello studio dei sistemi ibridi (Van Deer Laan, et al., 1997).

5.3.1 Modello logico

Il modello logico del sistema ibrido di rifabbricazione considerato è un modello a più livelli di scorte simile a quello proposto da Behret and Korugan a meno delle modifiche dovute alla presenza del mercato secondario per i prodotti di qualità elevata (Figura 5-2).

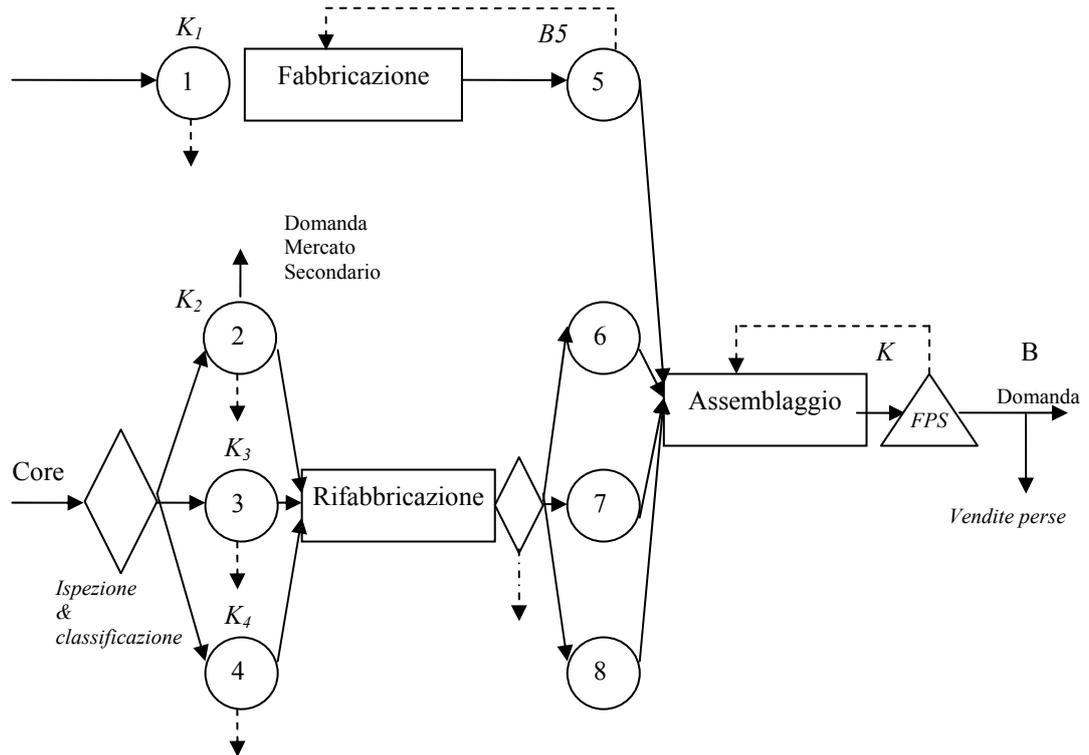


Figura 5-2: Modello logico del sistema in presenza di un mercato secondario

In particolare il Buffer 1 contiene le materie prime per il processo di produzione. I Buffer 2, 3 e 4 contengono rispettivamente i ritorni di qualità buona ($i=1$), qualità media ($i=2$), qualità bassa ($i=3$).

Dopo il processo di rifabbricazione, le parti vengono posizionate nei Buffer 6, 7 e 8 secondo lo stesso criterio precedente, in modo da mantenere traccia dei costi di mantenimento. Si osservi che a questo punto le parti nei diversi buffer hanno lo stesso livello qualitativo.

Nel modello vengono utilizzati dei meccanismi di blocco delle attività produttive sfruttando la capacità limitata di alcuni dei magazzini: quando un item è pronto per raggiungere una stazione, se il buffer è pieno, allora l'item non può aggiungersi in coda e resta dove si trova bloccando la stazione corrispondente. Un item bloccato è rilasciato dalla stazione a monte alla successiva quando il relativo buffer si svuota.

La domanda del mercato primario che non è soddisfatta immediatamente viene posticipata. Quando la capacità di *backorder* del sistema (B) è raggiunta, gli ordini successivi sono rifiutati e vengono registrati come vendite perse.

Il magazzino dei prodotti finiti ha una capacità limitata K . Quando i prodotti finiti stoccati raggiungono questo limite, la stazione di assemblaggio risulta bloccata finché il livello del magazzino prodotti finiti non risulta inferiore a K . Il blocco della stazione di assemblaggio causa l'aumento del numero delle parti nei buffer a monte.

La stazione di assemblaggio ha quattro buffer a monte: il buffer dei prodotti processati attraverso una produzione tradizionale che ha capacità limitata a B_5 , e i tre buffer dei prodotti rifabbricati di qualità 1, 2, 3. Tra questi buffer, quelli delle parti rifabbricate hanno capacità illimitata in quanto il blocco della stazione di assemblaggio comporterebbe uno scarto di prodotti già parzialmente trattati.

I buffer prima della stazione di rifabbricazione, invece, hanno capacità limitata (K_2, K_3, K_4) e il flusso in eccesso verrà smaltito.

Anche il buffer delle parti processate da produzione tradizionale è limitato (K_1). Quando questo limite di capacità è raggiunto le materie prime non possono rientrare nel sistema e vengono rispediti al fornitore senza dover sostenere costi extra.

Poiché la risorsa rifabbricazione ha capacità unitaria e i core vengono "spinti" nel sistema produttivo, si creeranno tre differenti code per i diversi livelli qualitativi. È allora necessario individuare delle regole di priorità. Behret e Korugan (2005) e Souza et al. (2002) hanno analizzato tale problema.

In particolare, Behret e Korugan hanno dimostrato che in sistemi di rifabbricazione con classificazione dei ritorni conviene dare priorità ai prodotti con qualità maggiore. Questa regola di priorità permette di ottenere prestazioni migliori in termini di costo in varie condizioni come ad esempio in presenza di tassi di ritorno elevati, costi di mantenimento significativi e sistemi con magazzini non limitati. In altre condizioni operative, tale regola riesce comunque a garantire prestazioni non inferiori.

La stessa situazione si presenta per quanto riguarda la stazione di assemblaggio, che nel modello è alimentata da 4 buffer. In questo caso, lo scopo principale dell'utilizzo di 4 buffer differenti è quello di mantenere traccia dei

costi di mantenimento i quali sono differenti in quanto il valore aggiunto nei vari rami produttivi è diverso. In questo caso la regola di priorità utilizzata è una regola FIFO (First In First Out) in quanto si ipotizza che in realtà sia presente un solo magazzino a monte della stazione di assemblaggio il quale è alimentato dai diversi rami produttivi.

La domanda e il flusso di ritorno dal mercato primario sono modellati con due distribuzioni di Poisson indipendenti di parametri rispettivamente γ e $r*\gamma$ con $0 < r < 1$ (Mitra S., 2007). Il tasso di restituzione dei prodotti (r) può essere minore dell'unità per svariati motivi:

- la rete di raccolta non copre tutte le aree dove i prodotti potrebbero essere raccolti;
- gli utenti finali non restituiscono il prodotto o semplicemente lo smaltiscono in discarica;
- esistono terze parti che si occupano della raccolta e della rifabbricazione.

Ci possono essere, comunque, delle situazioni in cui la quantità dei ritorni sia sufficiente a soddisfare la domanda, solitamente nella fase finale del ciclo di vita di un prodotto in cui la domanda è in calo.

In generale è possibile individuare le seguenti fasi del ciclo di vita di un prodotto rifabbricabile (Van Deer Laan, et al., 1997):

- 1) Fase di introduzione: durante questa fase il tasso di domanda cresce, mentre il tasso di ritorno è prossimo a zero.
- 2) Fase di crescita: durante questa fase il tasso di domanda cresce ulteriormente, mentre il tasso di ritorno inizia a crescere lentamente.
- 3) Fase di maturità: in questa fase i tassi di domanda e ritorno diventano stabili.
- 4) Fase di declino: in questa fase il tasso di domanda decresce rapidamente mentre il tasso di ritorno potrebbe iniziare a decrescere lentamente.

- 5) Fase finale: in questa fase non c'è più domanda mentre il tasso di ritorno potrebbe essere ancora positivo.

La Tabella 5-1 illustra il rapporto tra tasso di domanda e ritorno nelle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto.

Tabella 5-1: Andamento del tasso di domanda λ_D e del tasso di ritorno λ_R nel ciclo di vita di un prodotto rifabbricabile

	Fase 1		Fase 2			Fase 3	Fase 4			Fase 5	
	Introduzione		Crescita			Maturità	Declino			Fine vita	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
λ_D	0.25	0.5	0.75	1.00	1.00	1.00	0.75	0.50	0.25	0	0
λ_R	0	0	0.20	0.40	0.60	0.80	0.80	0.80	0.60	0.40	0.20

Lo studio considera un prodotto nella sua fase di maturità e valuta l'opportunità di servire il mercato secondario, la cui domanda è determinata come quota parte di quella nel mercato primario. Si osservi che l'utilità di questo secondo canale di vendita potrebbe aumentare nelle fasi successive del ciclo di vita, in particolare in quella finale, nella quale il prodotto solitamente conserva una certa domanda nel mercato secondario.

Il rendimento del processo di rifabbricazione non è perfetto poiché alcune parti potrebbero non essere riprocessate a causa di difetti imprevisti che si manifestano dopo il disassemblaggio. In particolare i tassi di recupero di materiali e componenti (z_i) sono determinati in funzione della classe di appartenenza dei ritorni.

La presenza del ramo di produzione ex novo tiene conto del fatto che il solo ramo di rifabbricazione non riesce a soddisfare la domanda del mercato primario. Si osservi che in assenza di vendita nel mercato secondario, il ramo di produzione ex novo è in grado di fornire la quota di prodotti necessari per soddisfare interamente la domanda nel mercato primario.

In presenza di un mercato secondario, invece, la limitata capacità produttiva dei rami di fabbricazione ex novo e rifabbricazione, non riesce a

garantir in tutti gli scenari il soddisfacimento completo della domanda nel mercato primario.

Sarà, dunque, valutata la convenienza di utilizzare parte del flusso dei core di qualità elevata per servire il mercato secondario confrontando in diversi scenari la prestazione, in termini di profitto, dello stesso sistema in presenza o meno di un mercato secondario che assorba una quota variabile dei *ritorni* di alto livello qualitativo.

5.3.2 Modello analitico

Prima della presentazione del modello analitico vengono illustrate le procedure utilizzate per il calcolo dei tempi di lavorazione del sistema e dei costi significativi.

Il calcolo dei tempi di lavorazione

Il tempo medio di rifabbricazione del prodotto dipende, ovviamente, dalla classe qualitativa di appartenenza del prodotto stesso e dal grado di congestione dell'impianto funzione del tasso dei ritorni ($\gamma * r_{\max}$ ³⁵) e del tasso di utilizzazione del sistema (ρ_{avg}).

La procedura seguita per il calcolo dei tempi medi di rifabbricazione delle tre classi di ritorni è analoga a quella proposta da Behret e Korugan (2007). In particolare essa prevede il calcolo dei tempi medi di rifabbricazione per i prodotti di qualità media π_{r2} (Equazione 5-1) e, successivamente, quelli per le altre classi qualitative π_{r1} e π_{r3} attraverso l'Equazione 5-2 e l'Equazione 5-3, fissato in modo opportuno il valore di ω (cfr. Tabella 5-5).

Tutti i tempi di processamento di rifabbricazione seguono una distribuzione esponenziale e tutte le stazioni lavorano un'unità alla volta.

³⁵ Il tasso di ritorno utilizzato è quello massimo degli esperimenti (r_{\max}) in modo da considerare il caso peggiore, ovvero con più entità che devono essere rifabbricate.

$$\pi_{r_2} = \frac{\rho_{avg}}{r_{max} \gamma}$$

Equazione 5-1

$$\omega = \frac{\pi_{r_2}}{\pi_{r_1}}$$

Equazione 5-2

$$\pi_{r_3} = \pi_{r_2} + (\pi_{r_2} - \pi_{r_1})$$

Equazione 5-3

La definizione del valore del parametro f (Equazione 5-4), permette il calcolo del tempo medio di fabbricazione ex novo a partire dal tempo di rifabbricazione di un prodotto di qualità media.

$$f = \frac{\pi_m}{\pi_{r_2}}$$

Equazione 5-4

Si assume che la fabbricazione ex novo abbia tempi di processamento deterministici, in quanto la sua variabilità è trascurabile rispetto a quella delle operazioni di rifabbricazione. Tale ipotesi semplificativa è spesso utilizzata nella letteratura riguardante i sistemi di produzione ibridi (Van Deer Laan, et al., 1999).

Il tasso di arrivo al processo di assemblaggio equivale alla somma del throughput totale delle operazioni di produzione e del throughput totale delle operazioni di rifabbricazione al netto dello scarto. Il tasso medio delle operazioni di scarto dal processo di rifabbricazione per il ritorno dei prodotti di qualità i è calcolato con riferimento ai tassi di recupero dei materiali per i diversi livelli qualitativi dei prodotti restituiti (z_i).

Il tempo di processamento dell'assemblaggio è calcolato considerando l'utilizzazione media del sistema:

$$\pi_a = \frac{\rho_{avg}}{\lambda}$$

Equazione 5-5

Procedura di calcolo dei costi

L'approccio utilizzato nel modellare i costi di mantenimento, è quello tradizionale del costo medio (Teunter, et al., 2000). In particolare i costi di mantenimento (CH_j) sono calcolati come somma dei costi di mantenimento del capitale investito e dei costi opportunità del capitale stesso (h rappresenta il tasso di mantenimento out-of-pocket e α rappresenta il costo opportunità del capitale).

L'utilizzo della metodologia suddetta per il calcolo dei costi di mantenimento, permette di considerare costi differenti per i diversi magazzini del sistema, in virtù del differente valore aggiunto delle operazioni svolte. I costi di mantenimento per i ritorni, quindi, saranno minori di quelli dei prodotti finiti. Situazioni in cui si verifica l'opposto non sono realistiche.

La Tabella 5-2 riporta in dettaglio le formule utilizzate per il calcolo dei costi di mantenimento per i diversi magazzini. Si osservi che per il calcolo del costo di mantenimento nel magazzino dei prodotti finiti è stata considerata una media pesata delle varie componenti di costo sostenute per la realizzazione del prodotto finito poiché in tale magazzino sono presenti unità che, pur essendo identiche, hanno effettuato lavorazioni differenti e quindi accumulato costi differenti.

Il costo unitario di backorder (C_b) è posto pari al doppio del valore dei costi di mantenimento per il magazzino prodotti finiti per unità/tempo (CH_{fps}).

Nella funzione di profitto, non viene utilizzato un costo unitario delle vendite perse, in quanto tale costo è composto principalmente, oltre che dal costo di perdita d'immagine, dal mancato profitto. Il mancato profitto è già contabilizzato dalla funzione di profitto, mentre per considerare i problemi che una mancata vendita comporta all'immagine dell'azienda, sarà valutato il livello di servizio erogato dal sistema sul mercato primario.

Tabella 5-2: Formule per il calcolo dei costi di mantenimento

$CH_1 = h + \alpha (C_{RW} - CD_1)$
$CH_2 = h + \alpha (C_R - CD_2)$
$CH_3 = h + \alpha (C_R - CD_3)$
$CH_4 = h + \alpha (C_R - CD_4)$
$CH_5 = h + \alpha (C_{RW} + CH_1 + CP_m * \pi_m)$
$CH_6 = h + \alpha (C_R + CH_2 + CP_{r1} * \pi_{r1})$
$CH_7 = h + \alpha (C_R + CH_3 + CP_{r2} * \pi_{r2})$
$CH_8 = h + \alpha (C_R + CH_3 + CP_{r3} * \pi_{r3})$
$CH_{FPS} = h + \alpha [(1-r * \sum k_j * z_j) * C_{RW} + (r * \sum k_j * z_j) * C_R + (1-r * \sum k_j * z_j) * CH_1 + (r * \sum k_j * z_j) * CH_2 + (1-r * \sum k_j * z_j) * CH_5 + (r * k_1 * z_1) * CH_6 + (r * k_2 * z_2) * CH_7 + (r * k_3 * z_3) * CH_8 + (1-r * \sum k_j * z_j) * CP_m * \pi_m + (r * k_1 * z_1) * CP_{r1} * \pi_{r1} + (r * k_2 * z_2) * CP_{r2} * \pi_{r2} + (r * k_3 * z_3) * CP_{r3} * \pi_{r3} + CP_a * \pi_a)$

Si osservi che in assenza del mercato secondario il sistema è in grado di garantire un livello di servizio, valutato come vendite effettuate rispetto alla domanda ricevuta (*fill rate*) un valore realistico di almeno il 90%.

I parametri operativi del sistema sono:

RW : numero totale atteso delle materie prime nel sistema;

R : numero totale atteso dei prodotti restituiti nel sistema;

v_{ri} : numero totale atteso di prodotti rifabbricati per il ritorno dei prodotti di qualità i ;

v_m : numero totale atteso di prodotti fabbricati;

v_a : numero totale atteso di prodotti assemblati;

NDO_i : numero totale atteso dello scarto dal processo di rifabbricazione per i prodotti restituiti di qualità i ;

NQ_j : numero totale atteso di prodotti nella j -esima coda;

TQ_j : tempo medio di attesa di un'unità nella j -esima coda;

NQ_{fps} : numero totale atteso di prodotti nel magazzino prodotti finiti;
 TQ_{fps} : tempo medio di attesa di un'unità nel magazzino prodotti finiti;
 ND_j : numero totale atteso del flusso in eccedenza dal buffer j ;
 N_b : numero totale atteso di vendite ritardate;
 TQ_b : tempo medio di backorder per unità;
 N_s : numero totale vendite mercato primario;
 N_{s2} : numero totale vendite mercato secondario.

I parametri di costo e di ricavo del sistema sono:

C_{RW} : costo d'acquisto unitario per le materie prime;
 C_R : costo d'acquisto unitario per i prodotti restituiti;
 CP_{ri} : costo di rifabbricazione per unità di tempo di funzionamento dell'impianto, per un prodotto restituito di qualità i ;
 CP_m : costo di produzione ex novo per unità di tempo di funzionamento dell'impianto;
 CP_a : costo di assemblaggio per unità di tempo di funzionamento dell'impianto;
 CDO_i : costo di smaltimento di un prodotto restituito di qualità i dopo le operazioni di rifabbricazione;
 CD_j : costo di smaltimento per il flusso in eccesso relativo al buffer j ;
 CH_j : costo per il mantenimento di un'unità nel j -esimo magazzino per unità di tempo di funzionamento dell'impianto;
 CH_{fps} : costo per il mantenimento di un'unità nel magazzino prodotti finiti per unità di tempo di funzionamento dell'impianto;
 C_b : costo per il ritardo di consegna per unità di tempo;
 P : prezzo unitario di vendita nel mercato primario;
 p : prezzo unitario di vendita nel mercato secondario.

Nell'assegnare i valori di costo sono state fatte delle assunzioni derivate

dalle condizioni tipiche di funzionamento di processi di rifabbricazione presenti in letteratura:

- Il costo di acquisizione delle materie prime è più basso del costo d'acquisto dei prodotti restituiti, $C_{RW} < C_R$;
- Il costo del processo di rifabbricazione dei prodotti restituiti, diminuisce all'aumentare del livello qualitativo, inoltre il costo di produzione ex novo è maggiore del costo di rifabbricazione. Quindi, $CP_{r1} \leq CP_{r2} \leq CP_{r3} \leq CP_m$;
- I costi di smaltimento dei core rivelatisi difettosi in seguito al disassemblaggio sono uguali per i diversi livelli qualitativi dei prodotti restituiti e sono maggiori del valore salvato con il riciclaggio ($CDO_1 = CDO_2 = CDO_3$);
- Il flusso in eccesso dal buffer di produzione, è mandato direttamente ai fornitori di materie prime con il recupero del valore equivalente al costo d'acquisto delle materie prime, $CD_1 = -C_{RW}$. Tale ipotesi è poco realistica, in quanto solitamente, la restituzione delle materie prime al fornitore comporta il pagamento di una penale. In questo contesto viene utilizzata tale ipotesi in quanto non si considerano problemi di indisponibilità di materie prime per il processo di produzione;
- Lo smaltimento del flusso in eccesso per la rifabbricazione, ha un costo di penalità in quanto i costi di smaltimento e trasporto sono maggiori dei possibili ricavi derivanti dal riciclo dei materiali $CD_2 = CD_3 = CD_4$;
- Il margine ottenuto dai prodotti venduti sul mercato primario è più alto di quello ottenuto dai prodotti venduti nel mercato secondario. Quindi è preferibile soddisfare prima la domanda del mercato primario e nel caso in cui ci sia una disponibilità di prodotti di qualità elevata maggiore della domanda, è possibile soddisfare la domanda del mercato secondario.

La funzione di profitto nel caso in cui venga effettuata la vendita sia nel mercato primario che in quello secondario è costruita come:

$$\begin{aligned} \Pi_{ms} = & (P \times N_s) + (p \times N_{s2}) - (C_{RW} \times RW) + (C_R \times R) + \sum_{i=1}^3 (CP_{r_i} \times \pi_{r_i} \times v_{r_i}) + \\ & (CP_M \times \pi_m \times v_m) + (CP_a \times \pi_a \times v_a) + \sum_{i=1}^3 (CDO_i \times NDO_i) + \sum_{i=1}^4 (CD_j \times ND_j) + \\ & \sum_{i=1}^8 \left(CH_j \times NQ_j \times TQ_j \right) + \left(CH_{fps} \times NQ_{fps} \times TQ_{fps} \right) + (C_b \times N_b) \end{aligned}$$

Equazione 5-6

Mentre l'Equazione 5-6 rappresenta il profitto totale, l'Equazione 5-7 rappresenta il profitto totale per unità di tempo valutato in condizioni di stazionarietà.

$$\Pi_{msu} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E(\Pi_{ms})$$

Equazione 5-7

L'obiettivo è quello di massimizzare il profitto cercando il miglior valore delle variabili di controllo del sistema analizzato:

K : limite di blocco per il magazzino prodotti finiti;

B : capacità di backorder;

K_1, K_2, K_3, K_4 : capacità dei buffer 1, 2, 3, 4;

B_5 : limite di blocco del buffer 5.

Tali variabili influenzano sia i ricavi influenzando il numero di vendite sia il costo di esercizio dell'impianto.

5.4 Creazione del modello

Il modello da analizzare è stato ricostruito tramite il software ARENA[®] 8.0. In particolare si è fatto ricorso a 4 moduli (submodel), per rappresentare rispettivamente i processi di fabbricazione, rifabbricazione, assemblaggio e un modulo per la domanda del mercato (Figura 5-3).

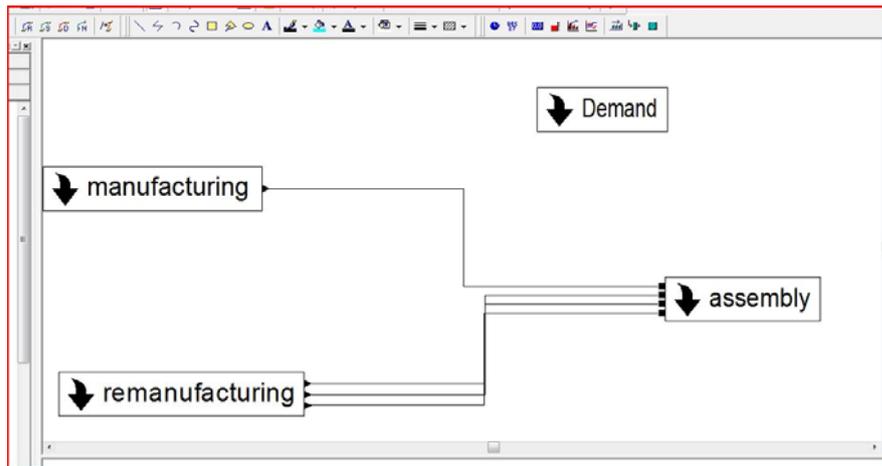


Figura 5-3: Suddivisione del modello in 4 moduli

Il modulo di fabbricazione (Figura 5-4) prevede che le entità siano create usando una schedulazione degli eventi oppure una distribuzione di probabilità che deve specifici parametri di input come, ad esempio, il tempo medio tra gli arrivi.

La tipologia dell'entità può essere specificata all'interno del modulo stesso. Nel caso considerato, il numero di entità in ingresso è abbastanza elevato da saturare completamente la successiva stazione di produzione. In tal modo è soddisfatta l'ipotesi di disponibilità delle materie prime per la fabbricazione.

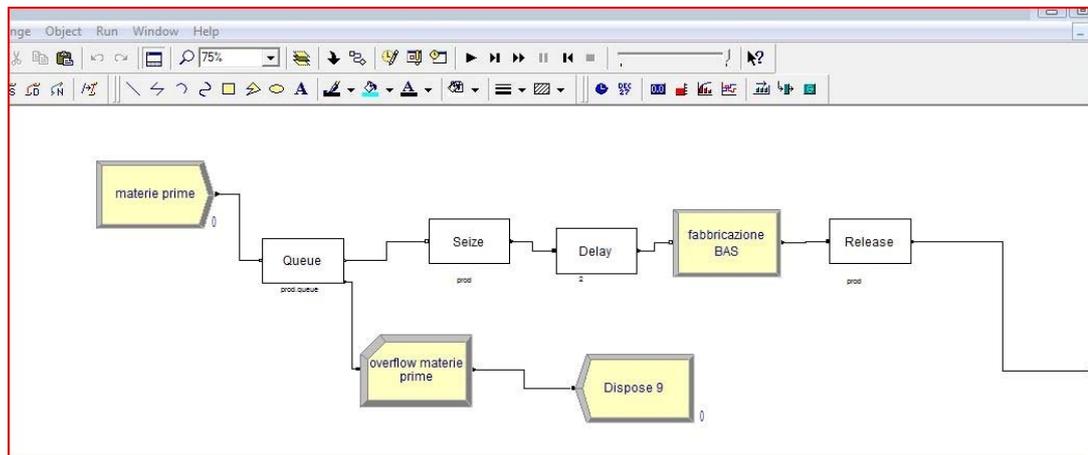


Figura 5-4 – Modulo di fabbricazione

Il blocco *Queue* è adoperato per rappresentare la coda della stazione di fabbricazione. La variabile $K1$ (definita nel modulo dati *Variable*), rappresenta la

capacità massima della coda (fig.31) e sarà una delle variabili di controllo adoperate nella successiva fase di ottimizzazione.

Figura 5-5 – Definizione capacità massima della coda

Quando la capacità della coda è saturata, le unità in eccesso usciranno dal sistema attraverso il modulo Dispose. Il modulo etichettato come “fabbricazione BAS”, è un modulo Hold che ha la funzione di eseguire il blocco della risorsa di fabbricazione qualora la dimensione del successivo buffer, contenente le unità prodotte pronte per l’assemblaggio, superi un certo livello, indicato dalla variabile di controllo b5 (Figura 5-6).

Figura 5-6 – Meccanismo di blocco dopo il servizio

Il funzionamento del modulo relativo alla rifabbricazione è analogo al modulo di fabbricazione. Non essendo, tuttavia, previsto alcun blocco della

stazione di rifabbricazione e non si è fatto ricorso a moduli di tipo Hold (Figura 5-7).

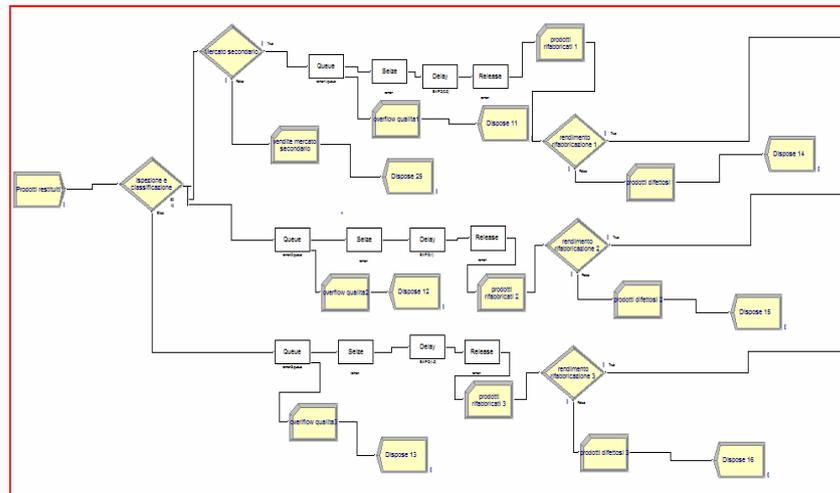


Figura 5-7 – Modulo di rifabbricazione

In questo caso è però presente un modulo Decide avente la funzione di dividere le entità in ingresso (i prodotti restituiti) nei tre livelli qualitativi considerati, secondo una specifica percentuale (Figura 5-8).

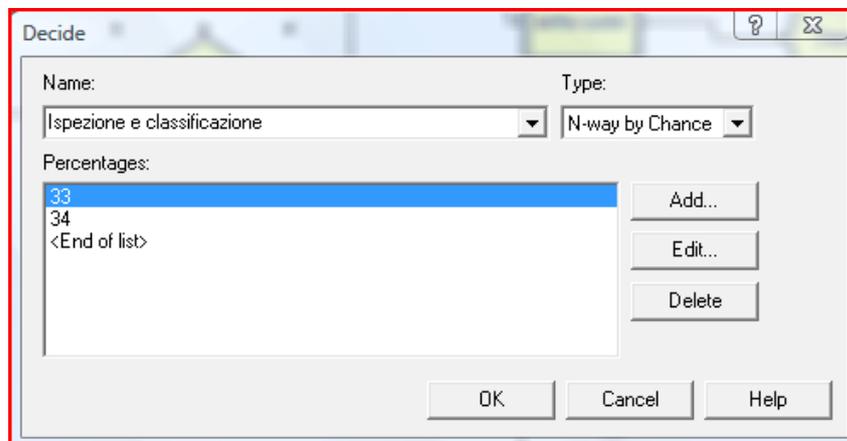


Figura 5-8 – Ispezione e classificazione

Anche se sono presenti tre differenti gruppi *Seize-Delay-Release*, il processo di rifabbricazione ha capacità unitaria. La risorsa potrà quindi essere contesa dalle unità presenti nelle tre differenti code. La regola di priorità utilizzata assegna la precedenza alle unità secondo un livello qualitativo decrescente. Tale regola viene modellata tramite l’assegnazione delle priorità nel modulo Seize (Figura 5-9).

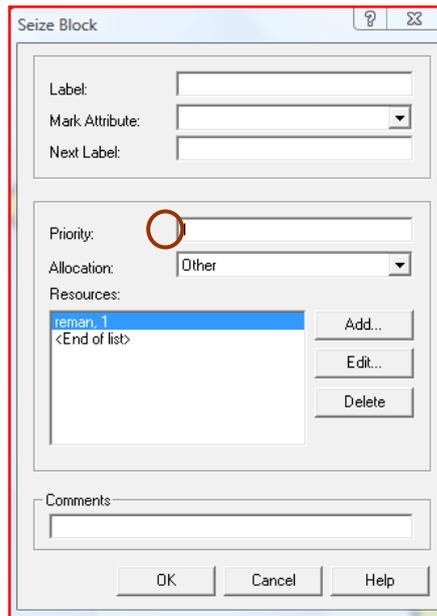


Figura 5-9 – Definizione regola di priorità

Anche nel caso del modulo relativo all'assemblaggio ci sarà un problema di contesa della risorsa (Figura 5-10). La regola di priorità utilizzata in questo caso è del tipo FIFO.

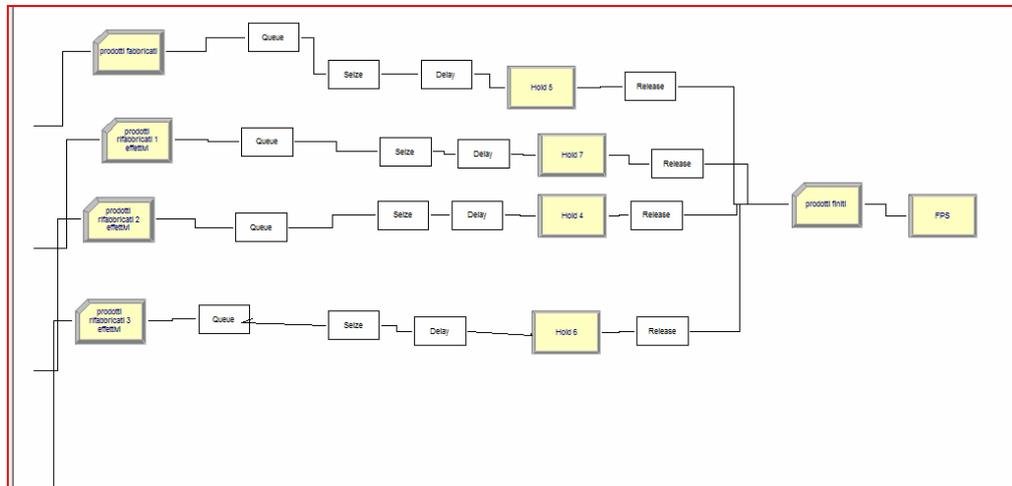


Figura 5-10 – Modulo assemblaggio

Il magazzino dei prodotti finiti, in ultimo, è stato modellato tramite un modulo Hold (Figura 5-11).

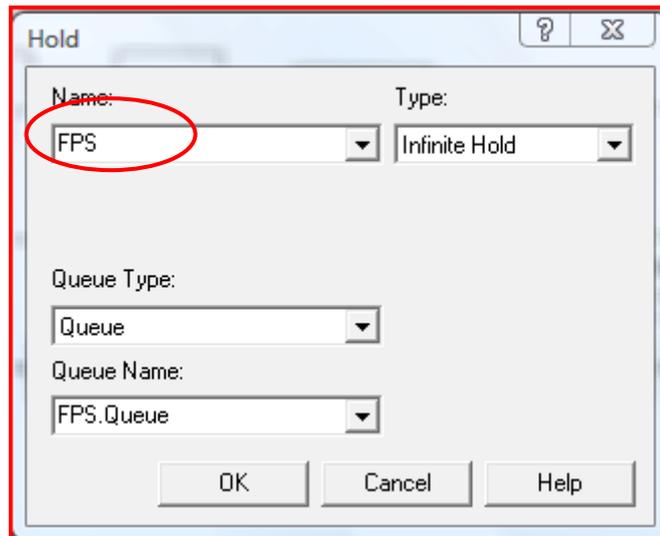


Figura 5-11 – Magazzino prodotti finiti

Il sotto modello relativo alla generazione della domanda (Figura 5-12), non è direttamente collegato ai precedenti tramite punti d'entrata-uscita.

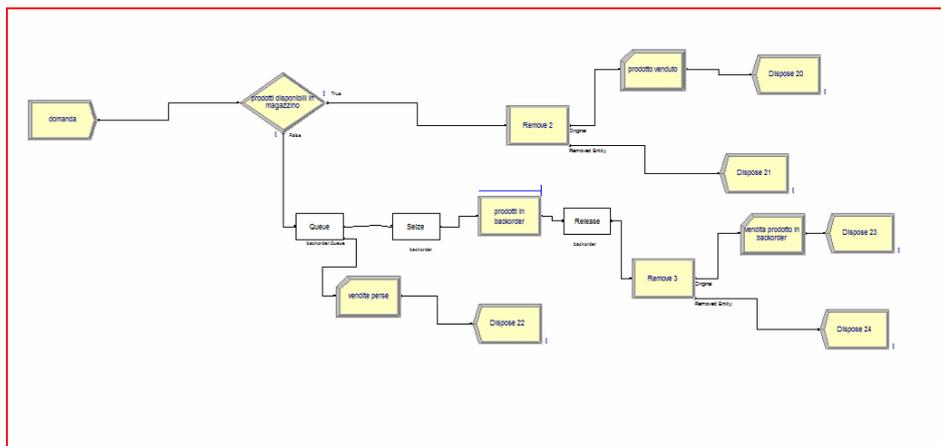


Figura 5-12 – Modulo relativo alla domanda

Il modulo Decide adoperato in questo caso consente di dividere le entità in base al verificarsi o no di un certo evento, nello specifico viene presa in considerazione la presenza di unità nel magazzino dei prodotti finiti (Figura 5-13).

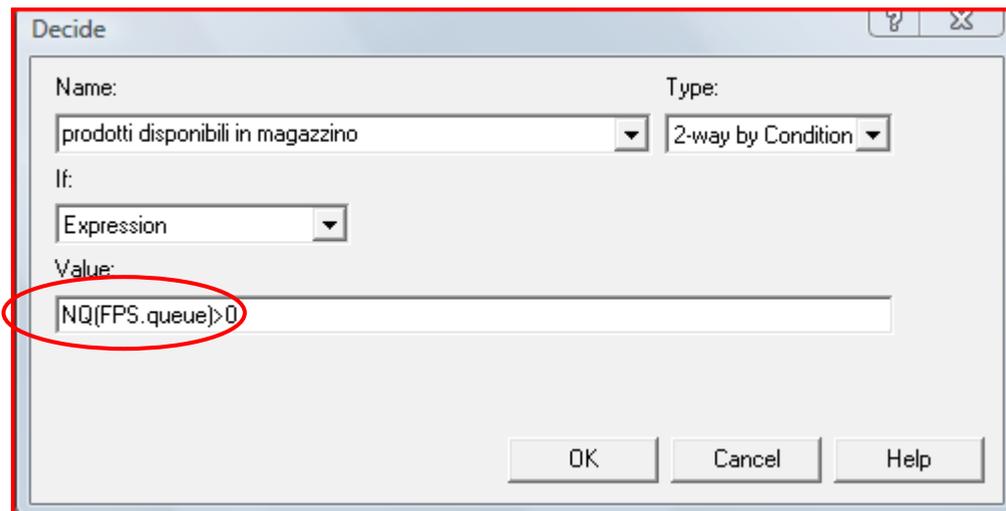


Figura 5-13 – Verifica disponibilità prodotti finiti in magazzino

Se c'è disponibilità di prodotti finiti in magazzino, l'entità prosegue nel ramo superiore, in caso contrario la domanda verrà ritardata e le entità attraversano il ramo inferiore del modello. Esiste, evidentemente, un limite alla capacità di backorder, rappresentato utilizzando una risorsa fittizia. La capacità di tale risorsa è una variabile di controllo del modello. Qualora tale capacità venga superata, le entità in eccesso, non potendo restare in coda, usciranno dal sistema e genereranno un report di vendita persa.

5.4.1 Simulazione

Il programma adottato per la simulazione del modello è Arena 8.0. Ogni esperimento è simulato per 36.000 minuti e replicato 30 volte. I primi 6.000 minuti di ogni esperimento sono impostati come periodo transitorio.

5.4.2 Verifica e validazione del modello

Il modello è stato verificato e validato tramite analisi delle tracce. È stato valutato prima il funzionamento dei singoli moduli e successivamente quello dell'intero modello (Kelton, et al., 2001). Un'ulteriore conferma della validità del modello proviene dalla successiva analisi di sensitività.

5.4.3 Durata e numero di iterazioni

Nello stimare il valore della variabile di prestazione a regime è stato necessario considerare un periodo transitorio. In particolare, si è proceduto per iterazioni indipendenti.

Per quel che riguarda la scelta della durata delle iterazioni si è proceduto per analogia rispetto ad un modello analogo esistente in letteratura verificando, in ogni caso, che tali valori fornissero risultati adeguati. Sulla base di tali considerazioni ogni esperimento è stato simulato per un arco temporale di 36.000 minuti e replicato 30 volte.

La lunghezza del transitorio è stata scelta in base al numero medio della lunghezza delle code, ricorrendo alla procedura di Welch ed adoperando un intervallo di confidenza del 95% (Kelton, et al., 2001). Nei casi esaminati la precisione della stima è stata ritenuta soddisfacente in quanto il rapporto tra la semiampiezza e la media del campione si posiziona al di sotto dell'1%. In seguito all'analisi delle diverse code, è stata scelta una durata del transitorio pari a 6.000 minuti (Figura 5-14).

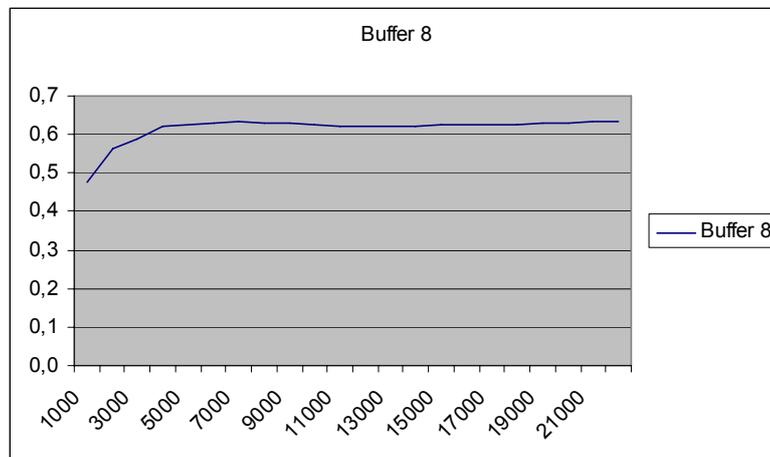


Figura 5-14- Analisi del transitorio: Buffer 8

Attraverso l'Input Analyzer di Arena è stato, infine, valutato l'adattamento dei valori della variabile di prestazione ad una distribuzione normale (Kelton, et al., 2001).

5.4.4 Procedura di ottimizzazione

L'ottimizzazione della funzione di costo è stata effettuata rispetto a variabili di controllo (input). I range adoperati in OptQuest entro cui far variare tali parametri sono stati scelti considerando come valore minimo, un valore della variabile per il quale il controllo associato alla variabile risultava sempre attivo e come massimo un valore in cui il controllo non era mai attivo.

Dopo aver effettuato diverse prove utilizzando come criterio di terminazione 2000 iterazioni, è stata verificata la convergenza del costo di gestione dopo circa 250 iterazioni. Tale valore è stato preso a riferimento per ottenere, per ogni set di parametri, i valori ottimali dei parametri di controllo veritieri.

5.5 Analisi del modello

Per analizzare il comportamento del modello appena sviluppato, la sua prestazione in termini di profitto viene confrontata con quella di un modello analogo che non prevede la vendita nel mercato secondario.

Dal punto di vista della costruzione dei modelli di simulazione, i due modelli sono identici a meno della differenza relativa al modulo Decide “*Mercato secondario*” che non è presente nel modello di confronto.

La funzione di profitto del modello di riferimento è identica alla Equazione 5-6 ad eccezione del termine di ricavo relativo al mercato secondario che in questo secondo caso è assente.

Per effettuare il suddetto confronto sarà necessario ricavare i valori di profitto per entrambi i modelli in condizioni ottimali e valutarne la significatività della differenza.

Una soluzione analitica al problema formulato, seppure esistesse, potrebbe richiedere un consistente sforzo computazionale. Per tal motivo, l'approccio seguito è stato quello di rappresentare il modello del sistema in un simulatore “*event driven*”.

È stato utilizzato il software Arena 8.0, che è uno dei migliori software in ambito manifatturiero ed è dotato di un'interfaccia grafica particolarmente semplice da usare.

L'obiettivo è quello di massimizzare la funzione obiettivo intervenendo sulle variabili di controllo del sistema. Considerata la natura del problema, ci si è orientati ad una tecnica di ottimizzazione metaeuristica, adoperando, in particolare, il tool *OptQuest* di Arena.

Rimandando all'appendice per i dettagli relativi alla costruzione dei modelli di simulazione, all'analisi dei transitori ed alla procedura di ottimizzazione, nel prosieguo si definiscono i valori dei parametri dei due modelli e si individuano i diversi scenari in cui se ne confronta la prestazione.

5.5.1 Scelta degli scenari e dei valori dei parametri del modello

Gli scenari possibili nell'ambito dei quali si effettua il confronto dei due modelli sono quelli corrispondenti alle diverse dimensioni del mercato secondario ovvero la quota di domanda di tale mercato che si vuole soddisfare. Vengono, in particolare, considerate tre possibili dimensioni del mercato secondario (5, 10 e 20% della domanda sul mercato primario).

Il valore massimo della dimensione del mercato secondario è simile ai valori ottenuti da Souza e Ketzenberg (2002). Inoltre si osservi che per il sistema in esame valori più elevati comporterebbero un forte decadimento del livello di servizio sul mercato primario.

Tabella 5-3: Scenari di confronto

	Quote mercato secondario
Scenario 1	5%
Scenario 2	10%
Scenario 3	20%

Un ulteriore fattore che caratterizza il mercato secondario è il prezzo di vendita in tale mercato (p). Questo viene fissato pari al 70% del prezzo dello stesso prodotto (rifabbricato o nuovo) venduto nel mercato primario ed è il massimo prezzo ottenibile (Souza & Ketzenberg, 2002).

I fattori che potrebbero influenzare la scelta di servire il mercato secondario sono tutti legati alle caratteristiche del flusso di ritorno dei prodotti e del sistema produttivo (Tabella 5-4).

Per quanto riguarda il flusso di ritorno, i fattori significativi che lo caratterizzano sono il tasso di ritorno e la tipologia del mix. Tali fattori sono strettamente legati al sistema di logistica inverso. I tassi di ritorno utilizzati si riferiscono ad una fase di maturità del ciclo di vita del prodotto.

Per quanto riguarda il mix qualitativo dei ritorni, poiché l'obiettivo dello studio è quello di valutare l'opportunità di utilizzare parte dei ritorni di qualità elevata per soddisfare una certa domanda nel mercato secondario, i mix considerati avranno una percentuale di prodotti di qualità elevata (almeno il 33%) in grado di coprire tale domanda.

Tabella 5-4: Parametri di sistema

Variabili	Livelli		
Tasso di ritorno (r)	0,7	0,8	0,9
Mix di ritorno (k_i)			
k_1	0.33	0.5	0.8
k_2	0.34	0.3	0.1
k_3	0.33	0.2	0.1
Tasso medio di utlizzazione del sistema (ρ_{avg})	0,8		0,9

Il tasso di utilizzazione medio dell'impianto è invece una scelta progettuale, probabilmente fatta in fase preliminare considerando i possibili sviluppi del mercato primario, l'eventualità di ulteriori fattori di incertezza in grado di rallentare il sistema produttivo e decisioni in merito al capitale da investire. È verosimile che tale scelta sia stata fatta ignorando la possibilità di servire il mercato secondario, opportunità che si presenta solitamente solo nella fase di maturità del ciclo di vita del prodotto.

La definizione degli altri parametri del sistema, compresi quelli di costo, è stata fatta in accordo con la letteratura riguardante gli HRMS e considerando problemi di rifabbricazione relativi a prodotti elettrici ed elettronici, come ad esempio cellulari e fotocopiatrici (Tabella 5-6, Tabella 5-5).

Tabella 5-5: Parametri fissi del modello

$\lambda = 1$
$z_1 = 0.9$
$z_2 = 0.6$
$z_3 = 0.3$
$f = 2$
$\omega = 2$

Tabella 5-6: Parametri di costo

Parametri di costo			
Materie prime e costi di produzione	CRW = 0.1	CPm = 10	
Costi di rifabbricazione	CPr ₁ = 1	CPr ₂ = 3	CPr ₃ = 5
Costi di assemblaggio	CPa = 5		
Costo di mantenimento (% sul valore attuale)	h=0.01	$\alpha=0.01$	
Costi di smaltimento	CD ₁ = -0.1	CD ₁ = CD ₂ = CD ₃ = 1 CDO ₁ = CDO ₂ = CDO ₃ = 1	
Prezzo di vendita sul mercato primario (P)	50		

5.5.2 Pianificazione degli esperimenti

Per quanto riguarda la pianificazione degli esperimenti è stato utilizzato un piano fattoriale completo. I tre fattori considerati hanno rispettivamente 3, 3 e 2 livelli, quindi il piano fattoriale completo è composto da 18 esperimenti (Tabella 5-7).

Ogni condizione sperimentale è stata ripetuta per ogni valore della dimensione del mercato secondario ed in assenza del mercato secondario (modello di riferimento) per un totale di 72 esperimenti ($3^2 \cdot 2 \cdot 4$).

Tabella 5-7: Piano fattoriale degli esperimenti

Esperimento	Mix del flusso di ritorno			r	ρ_{avg}
1	33	34	33	0,7	90%
2	33	34	33	0,8	90%
3	33	34	33	0,9	90%
4	50	30	20	0,7	90%
5	50	30	20	0,8	90%
6	50	30	20	0,9	90%
7	80	10	10	0,7	90%
8	80	10	10	0,8	90%
9	80	10	10	0,9	90%
10	33	33	34	0,7	80%
11	33	33	34	0,8	80%
12	33	33	34	0,9	80%
13	50	50	30	0,7	80%
14	50	50	30	0,8	80%
15	50	50	30	0,9	80%
16	80	80	10	0,7	80%
17	80	80	10	0,8	80%
18	80	80	10	0,9	80%

5.5.3 Analisi dei risultati della simulazione

Per ogni condizione sperimentale è stata valutata la differenza percentuale dei profitti conseguiti in presenza ed in assenza di vendite nel mercato secondario

– ($\Delta\pi\%$):

$$\Delta\pi\% = \frac{(\pi_{msu} - \pi_{nmsu})}{\pi_{nmsu}} * 100$$

Equazione 5-8

Per stabilire la significatività di tale differenza, è stato utilizzato un approccio basato sull'intervallo di confidenza per campioni appaiati (*paired-t confidence interval*). Nel caso in esame, per entrambi i sistemi, vengono effettuate lo stesso numero di replicazioni n (in questo caso 30). Ci saranno, quindi, n campionamenti delle variabili aleatorie X_{1j} e X_{2j} , tali valori rappresentano i valori di profitto per unità di tempo a regime per il sistema in presenza ed assenza di vendite nel mercato secondario nelle 30 replicazioni.

È possibile definire, quindi, la variabile $Z_j = X_{1j} - X_{2j}$, per $j=1 \dots n$. Le variabili aleatorie Z_j sono identicamente distribuite e $E(Z_j) = \zeta$ è la quantità per la quale si vuole costruire un intervallo di confidenza.

Ricavate la media e la varianza campionaria della variabile aleatoria Z_j :

$$\bar{Z}(n) = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j}{n}$$

Equazione 5-9

$$\hat{Var}[\bar{Z}(n)] = \frac{\sum_{j=1}^n [Z_j - \bar{Z}(n)]^2}{n(n-1)}$$

Equazione 5-10

è possibile ricavare l'intervallo di confidenza al livello $100(1-\alpha)$

$$\bar{Z}(n) \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\hat{Var}[\bar{Z}(n)]}$$

Equazione 5-11

Tale intervallo di confidenza è esatto se le Z_j sono distribuite normalmente, Altrimenti ci si riferisce al teorema del limite centrale (Kelton W.D., 2001).

Il test è stato effettuato utilizzando l'*Output Analyzer* di Arena, fissando $\alpha = 0.05$ (Kelton W.D., 2001).

Le differenze di profitto percentuali sono state ricavate ipotizzando il valore massimo del prezzo di vendita nel mercato secondario (70% di P). Le differenze contrassegnate con ***, non sono risultate significative in seguito al test effettuato (Tabella 5-8).

Tabella 5-8 - Differenze percentuali di profitto rispetto al caso di assenza di mercato secondario

	Market 5%	Market 10%	Market 20%
1	-0,697%	-1,710%	-3,728%
2	***0,000%	-0,756%	-2,361%
3	2,136%	2,516%	1,095%
4	***0,028%	-0,568%	-2,437%
5	2,399%	3,204%	2,154%
6	2,422%	5,098%	6,664%
7	2,087%	3,638%	3,155%
8	2,563%	4,911%	8,244%
9	2,942%	5,866%	11,251%
10	***-0,161%	-0,942%	-2,895%
11	2,213%	2,488%	0,947%
12	2,835%	5,300%	6,043%
13	2,129%	2,584%	1,094%
14	2,851%	5,405%	6,720%
15	2,926%	5,535%	10,515%
16	2,744%	5,360%	7,487%
17	2,891%	5,828%	10,901%
18	3,036%	6,281%	12,263%

Utilizzando il software *Design Expert 7.0*, attraverso un'analisi ANOVA è stata valutata la significatività dei fattori considerati e delle loro interazioni (tasso di ritorno, mix di ritorno, tasso di utilizzazione medio del sistema, dimensione del mercato secondario). Sono risultati significativi tutti i fattori e le seguenti interazioni di secondo livello (Figura 5-15):

- tasso di ritorno-mix ritorno;
- tasso di ritorno-dimensione mercato secondario;
- mix ritorno-dimensione mercato secondario;
- tasso di utilizzo-dimensione mercato secondario.

La differenza di profitto cresce all'aumentare del tasso di ritorno, della percentuale di prodotti di qualità elevata presenti nel mix dei ritorni e delle dimensioni del mercato secondario. Diminuisce invece all'aumentare del tasso medio di utilizzazione dell'impianto (Figura 5-17, Figura 5-16, Figura 5-19, Figura 5-18).

Response	1	Diff. profitto				
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	663.83	25	26.55	33.20	< 0.0001	significant
A-tasso di ritorno	162.44	2	81.22	101.54	< 0.0001	
B-mix ritorno	233.33	2	116.67	145.85	< 0.0001	
C-tasso utilizzo	53.30	1	53.30	66.63	< 0.0001	
D-dimensione mercato	55.27	2	27.64	34.55	< 0.0001	
AB	10.50	4	2.62	3.28	0.0252	
AC	0.34	2	0.17	0.21	0.8101	
AD	56.53	4	14.13	17.67	< 0.0001	
BC	2.75	2	1.38	1.72	0.1972	
BD	77.74	4	19.44	24.30	< 0.0001	
CD	11.61	2	5.80	7.25	0.0029	
Residual	22.40	28	0.80			
Cor Total	686.22	53				

Figura 5-15: Risultati dell'analisi ANOVA sui fattori considerati

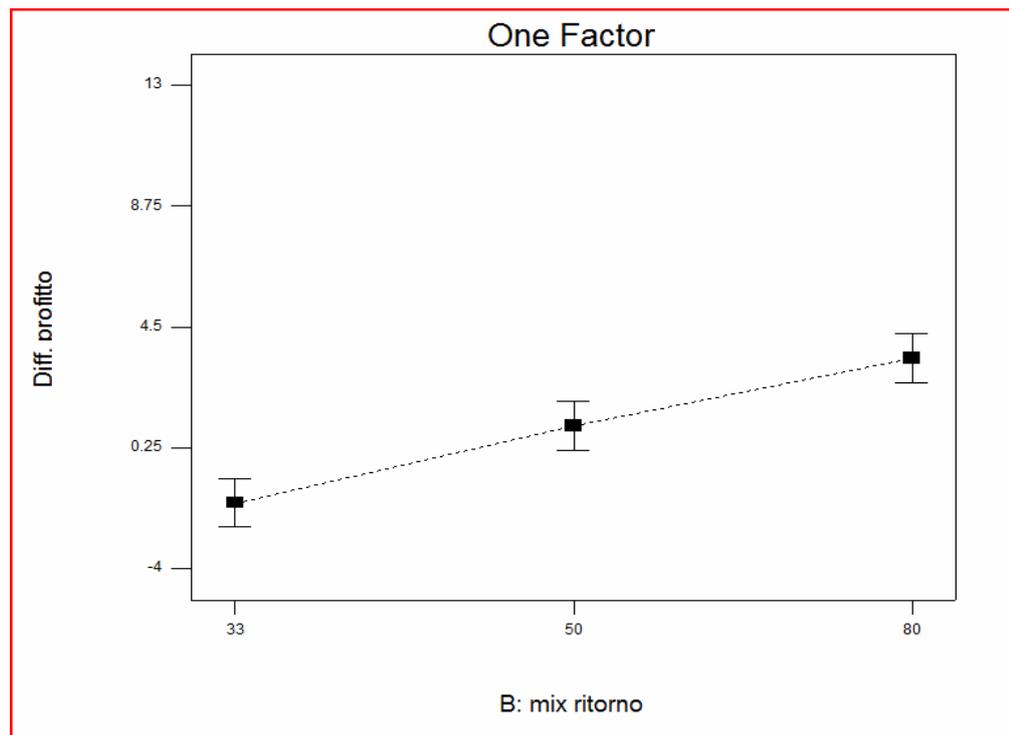


Figura 5-16: Variazione % del profitto al variare del mix dei ritorni

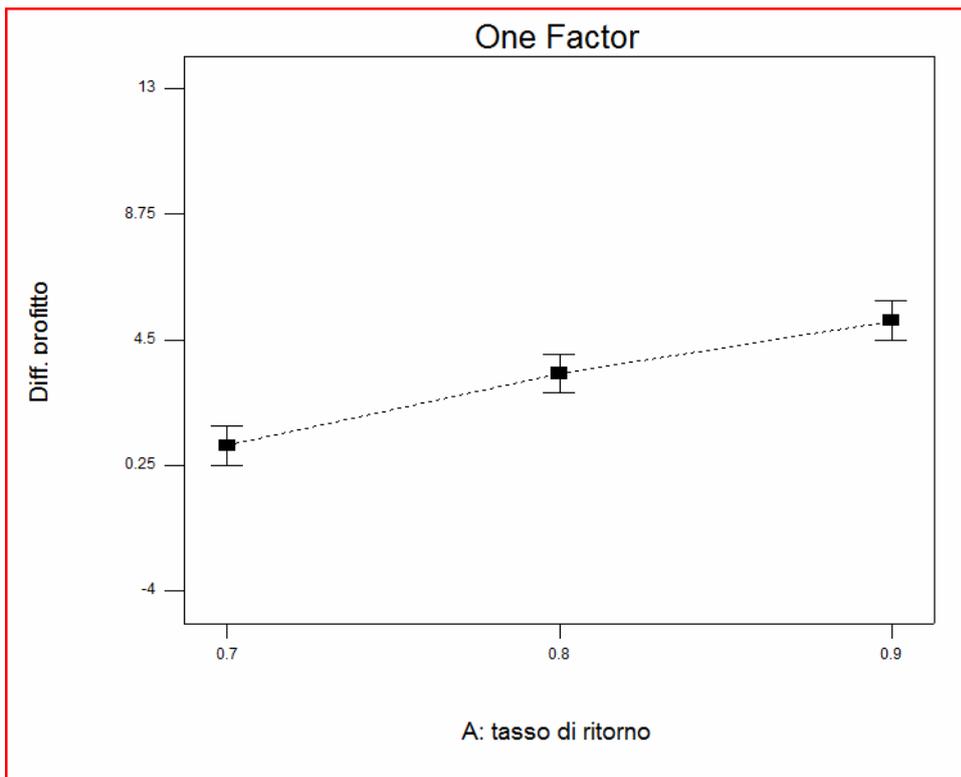


Figura 5-17: Variazione % del profitto al variare del tasso di ritorno

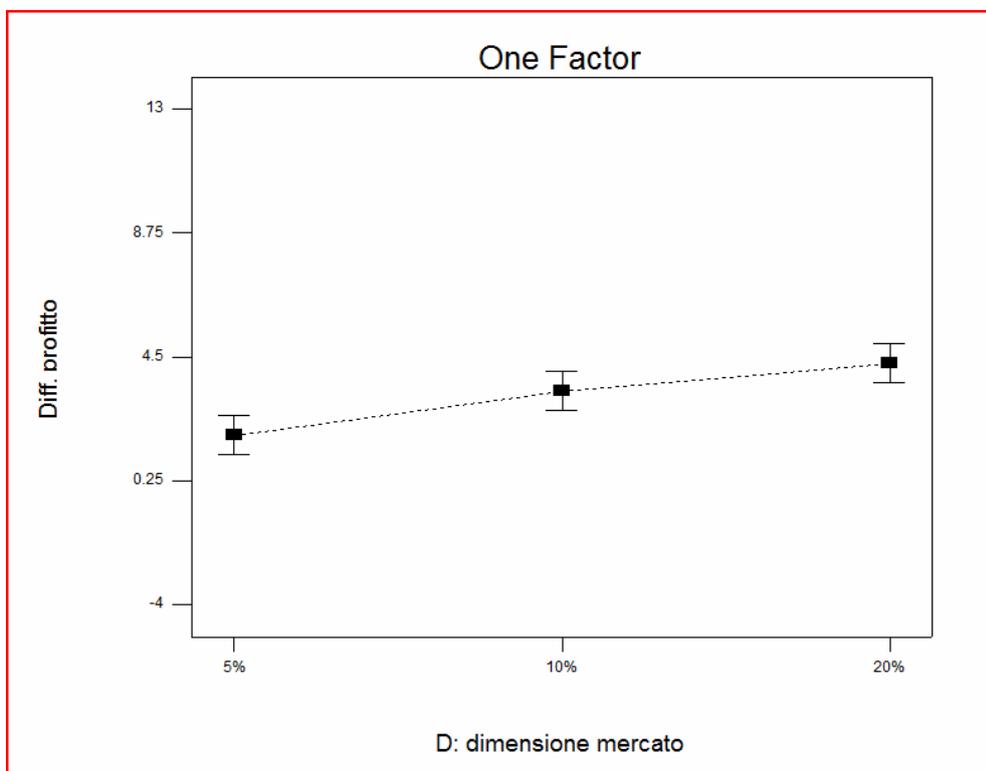


Figura 5-18: Variazione % del profitto al variare della dimensione del mercato secondario

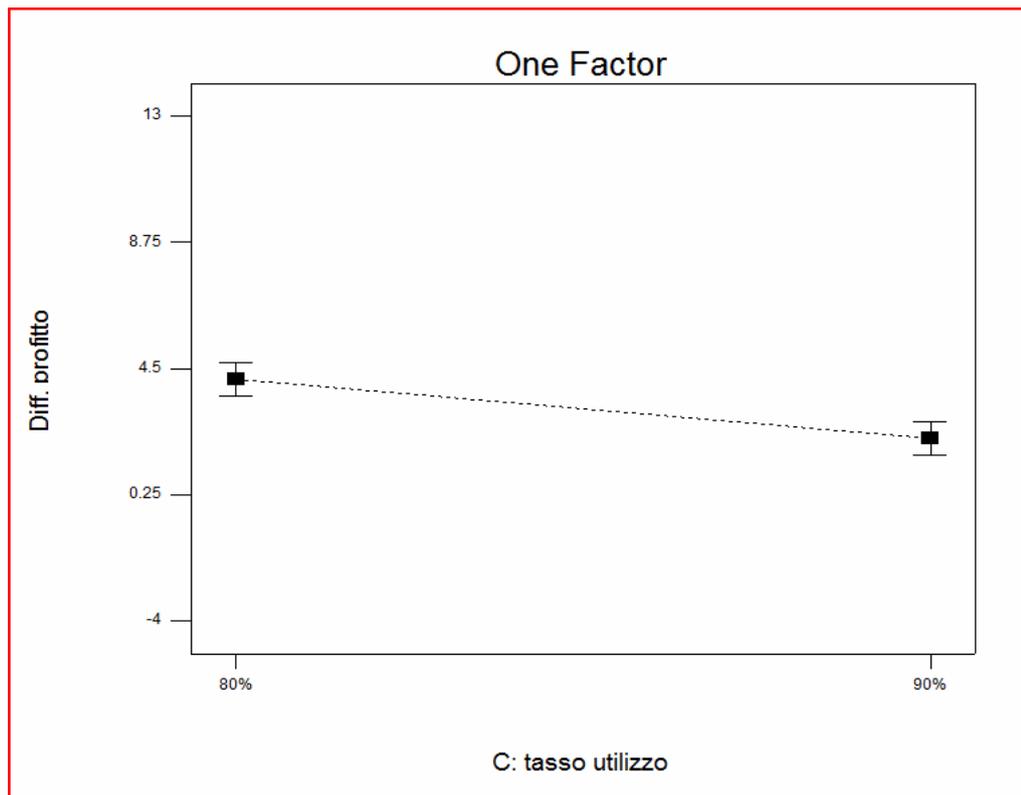


Figura 5-19: Variazione % del profitto al variare del tasso di utilizzazione medio dell'impianto

Valutando gli effetti principali dei fattori si nota che, mediamente:

- migliorando il mix dei ritorni si ottiene un incremento di profitto del 5,636%;
- incrementando il tasso di ritorno si ottiene un incremento di profitto del 5,155%;
- incrementando la dimensione del mercato secondario si ottiene un incremento del 4,284%;
- diminuendo il tasso di utilizzo del sistema, si ottiene un incremento del 4,142%.

I primi due fattori influenzano il numero di prodotti che possono essere utilizzati per il mercato primario. Il mix dei ritorni migliora il rendimento del processo di rifabbricazione e consente, a parità di ritorni, di avere un numero maggiore di unità destinate prima all'assemblaggio e poi al mercato finale. Il tasso di ritorno agisce sulla prestazione del sistema in modo simile, aumentando la disponibilità

di prodotti per la rifabbricazione. Il miglioramento del mix qualitativo ha, però, un effetto più evidente, a causa delle consistenti differenze tra i rendimenti del processo di rifabbricazione z_i al variare dei livelli qualitativi (nel caso considerato 90%, 60% e 30% per i prodotti di qualità rispettivamente elevata, media e bassa).

La dimensione del mercato influenza l'incremento di profitto in quanto aumentano i ricavi nel mercato secondario. Questo, però, comporta una diminuzione dei profitti relativi al mercato primario (a parità di prodotti venduti nel mercato primario aumenta l'utilizzo del ramo di produzione ex novo che ha dei margini di profitto inferiori) e non in tutte le configurazioni l'aumento del profitto derivante dal mercato secondario riesce a compensare tale diminuzione, per questo motivo il fattore risulta meno importante dei precedenti.

Il tasso di utilizzo influenza la convenienza del mercato secondario in quanto, rendendo più "veloce" il sistema consente, a parità di flusso di ritorno, di mantenere un maggior livello di servizio nel mercato primario.

Per quanto riguarda l'interazione tra tasso di ritorno e dimensione del mercato secondario (Figura 5-20), per valori bassi del tasso di ritorno è preferibile servire un mercato secondario di dimensioni ridotte. Lo stesso discorso vale per il mix dei ritorni rispetto alla dimensione del mercato secondario (Figura 5-21). Ciò può essere spiegato considerando che il ramo produttivo ha capacità limitata e non riesce a soddisfare da solo la domanda nel mercato primario.

A parità di prodotti destinati al mercato secondario, tassi di ritorno elevati (o mix contenenti una quantità maggiore di prodotti di qualità elevata, caratterizzati quindi da un rendimento maggiore nella fase di rifabbricazione) consentono di utilizzare un numero maggiore di core per il mercato primario. In questo modo, pur avendo una domanda significativa proveniente dal mercato secondario, il sistema riesce a garantire un certo livello di servizio nel mercato primario, sia a livello di backorder che di vendite perse (le unità di qualità elevata rifabbricate presentano costi di mantenimento più bassi rispetto alle unità prodotte ex novo, quindi avendo a disposizione un maggior numero di tali unità è possibile, a parità di costi di mantenimento, immagazzinare un numero maggiore

di unità migliorando il livello di servizio e diminuendo le vendite effettuate in ritardo).

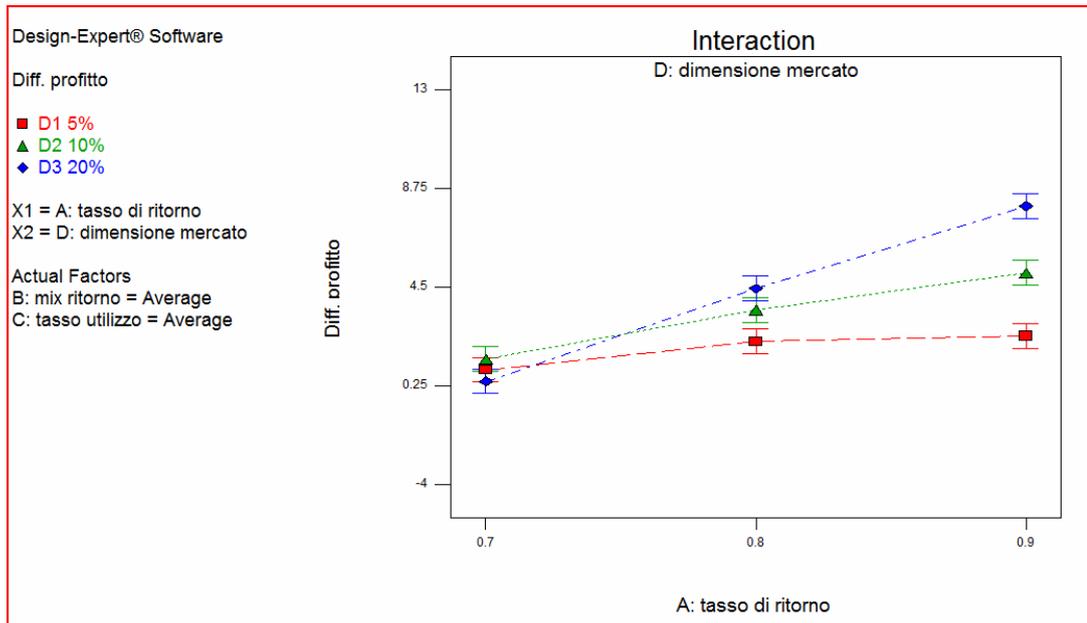


Figura 5-20: Interazione tasso di ritorno - dimensione mercato

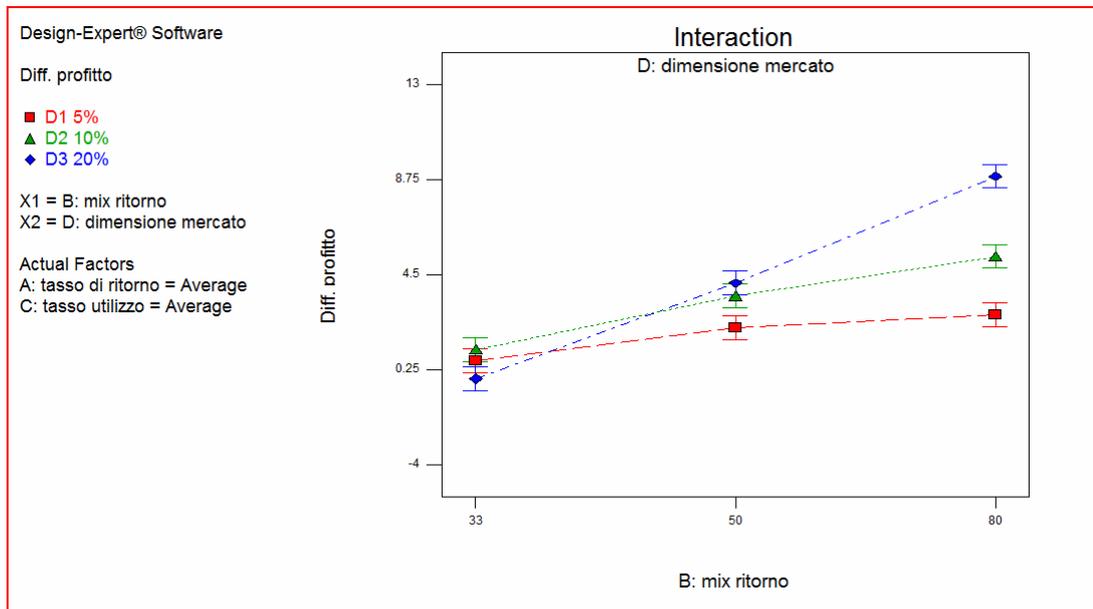


Figura 5-21: Interazione mix ritorno - dimensione mercato

Si osservi che analizzando per le diverse configurazioni sperimentali l'andamento della variazione di profitto all'aumentare delle dimensioni del mercato secondario, si notano tre situazioni tipiche:

- andamento sempre crescente;
- andamento sempre decrescente;
- andamento prima crescente e poi decrescente.

In realtà, ogni configurazione presenta un andamento simile a quello in Figura 5-22. La curva però è traslata rispetto all'asse x nelle varie configurazioni. La curva trasla verso destra all'aumentare del tasso di ritorno, della qualità del mix di ritorno e al diminuire del coefficiente di utilizzazione medio. Ciò è intuitivo perché tali configurazioni avendo a disposizione una capacità produttiva maggiore ed un miglior flusso di ritorno riescono a soddisfare percentuali più significative di mercato secondario mantenendo un livello di servizio soddisfacente nel mercato primario.

È importante sottolineare che il tratto decrescente della curva è collegato ad un peggioramento del livello di servizio. I ricavi maggiori dal mercato secondario, non riescono sempre a sopperire all'abbassamento del livello di servizio (che provoca un minore profitto nel mercato primario).

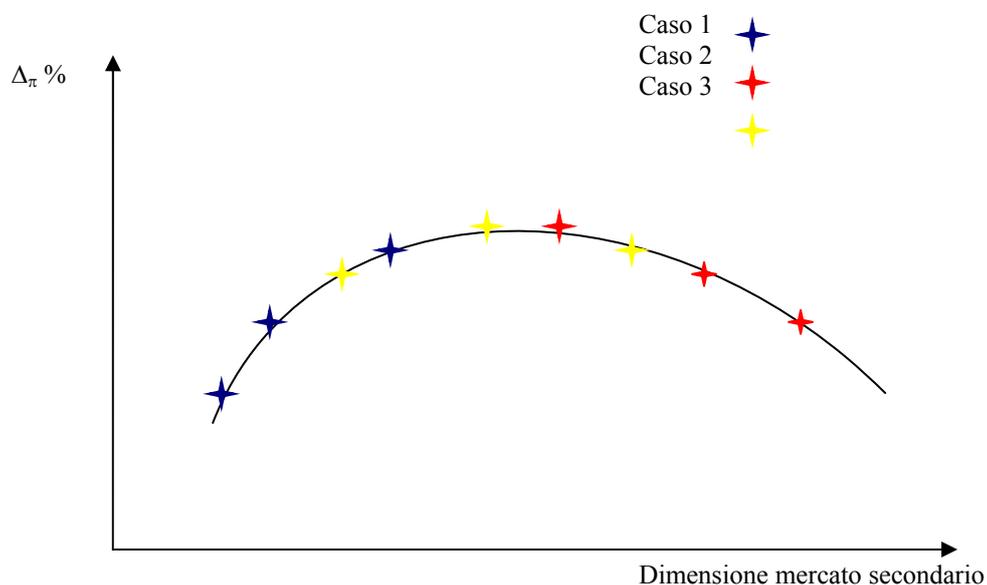


Figura 5-22: Andamenti di $\Delta\pi$ % rispetto alla dimensione mercato secondario

Quindi all'aumentare delle dimensioni del mercato secondario, ci sarà un peggioramento del livello di servizio (Figura 5-23).

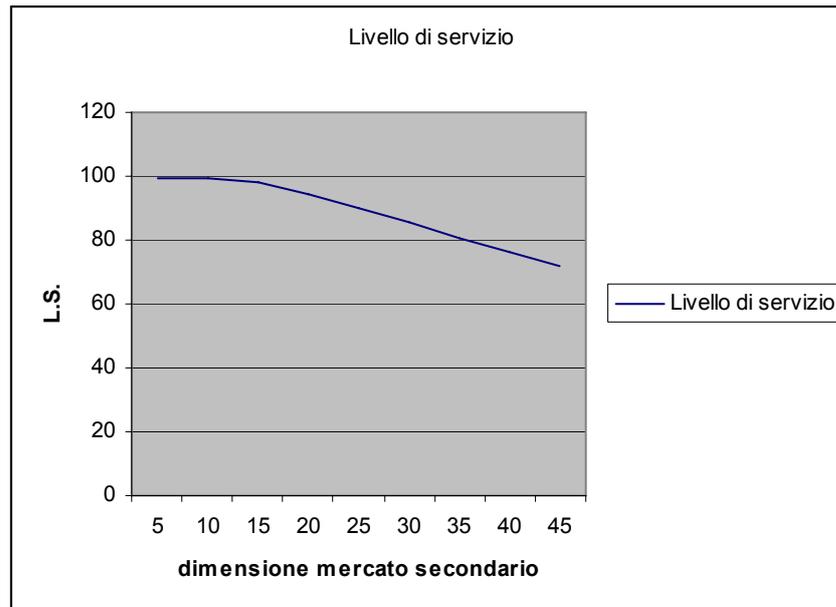


Figura 5-23: Livello di servizio e dimensione mercato secondario

5.5.4 Valutazione del livello di servizio

Il livello di servizio è fondamentale per valutare le prestazioni di un sistema produttivo. Risulta, dunque, utile calcolarne il valore in riferimento al mercato primario. Se non si effettua la vendita nel mercato secondario, il sistema produttivo riesce a garantire valori del livello di servizio superiori al 90% (il valore minimo riscontrato è 92%, relativo all'esperimento 1). La Tabella 5-9 riporta i valori del livello di servizio nei casi in cui viene soddisfatta anche una certa domanda nel mercato secondario.

Nella maggior parte dei casi, alle configurazioni che presentano livelli di servizio inferiori al 90%, sono associati valori medi del profitto inferiori alla corrispondente situazione senza mercato secondario, risultando, quindi, non convenienti. Tuttavia, in alcune configurazioni con una quota del mercato secondario pari al 20% (come ad esempio la 3), la presenza del mercato secondario produce un incremento di profitto facendo scendere il livello di servizio al di sotto del 90% (il livello di servizio è compreso tra l'87% e il 90%). In tali casi è ancora opportuno non servire il mercato secondario: nel lungo periodo ci potrebbe essere una perdita d'immagine e di quote di mercato.

Dalla Tabella 5-9 si evince che il livello di servizio, fissati i costi di

produzione, smaltimento e mantenimento, aumenta all'aumentare della qualità e della quantità dei ritorni, diminuisce, in genere, all'aumentare delle dimensioni del mercato secondario. Tale diminuzione è più rapida nei casi in cui il flusso di ritorno è quantitativamente e qualitativamente scadente e il livello di utilizzo del sistema è alto. Solo nel caso in cui la quantità dei ritorni è elevata, il mix dei ritorni è qualitativamente apprezzabile e il sistema presenta basso coefficiente di utilizzazione (esperimenti 17 e 18), il sistema riesce a mantenere lo stesso livello di servizio all'aumentare delle dimensioni del mercato secondario.

Tabella 5-9: Valori del livello di servizio per diverse dimensioni del mercato secondario

	Market 0%	Market 5%	Market 10%	Market 20%
1	92,0%	87,6%	83,2%	74,1%
2	97,3%	93,5%	88,9%	80,3%
3	99,2%	98,3%	94,6%	86,1%
4	98,0%	93,8%	89,2%	80,5%
5	99,5%	98,9%	96,1%	87,4%
6	99,8%	99,6%	99,5%	94,2%
7	99,5%	99,2%	98,4%	88,8%
8	99,8%	99,7%	99,6%	96,7%
9	99,9%	99,7%	99,6%	96,9%
10	97,8%	94,0%	89,4%	80,3%
11	99,6%	98,9%	95,2%	86,5%
12	99,9%	99,8%	99,2%	92,5%
13	99,7%	98,8%	95,5%	87,2%
14	99,8%	99,5%	99,4%	93,7%
15	99,9%	99,9%	99,6%	99,0%
16	99,9%	99,8%	99,6%	95,1%
17	99,9%	99,9%	99,9%	99,5%
18	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%

5.5.5 Effetti della variazione del prezzo di vendita sul mercato secondario

Una diminuzione del prezzo di vendita nel mercato secondario provoca uno spostamento della curva del profitto verso il basso: la vendita nel mercato secondario diventa sempre meno conveniente (Figura 5-24).

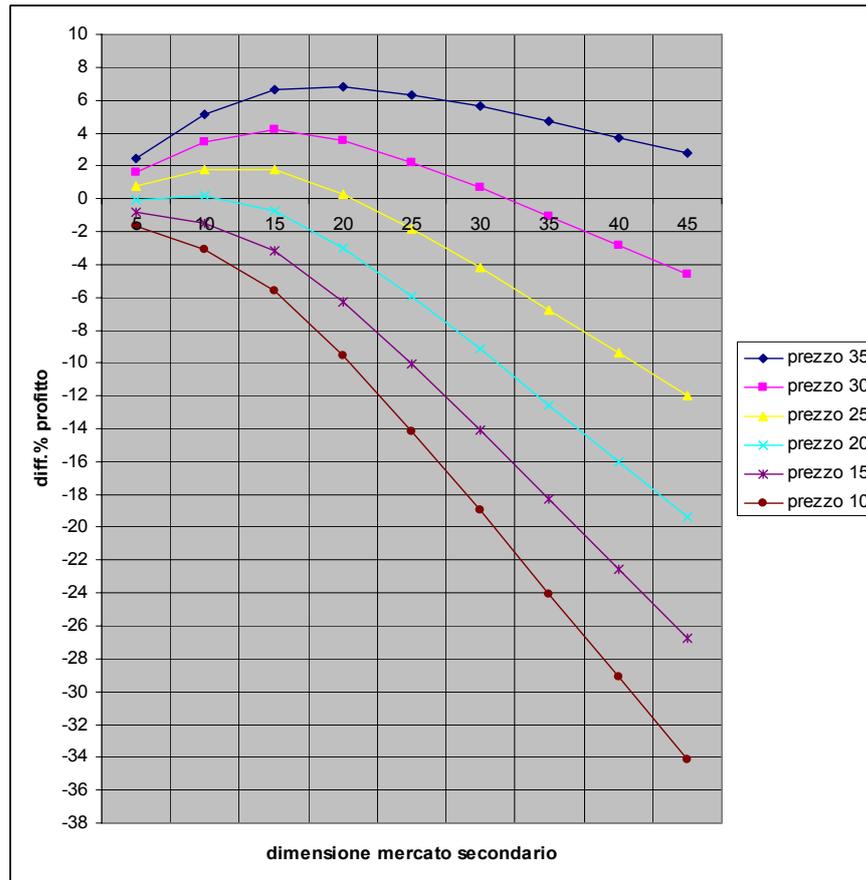


Figura 5-24: Curve isoprezzo

Gli incrementi di profitto in Tabella 5-8 sono stati calcolati ipotizzando un prezzo di vendita nel mercato secondario pari al 70% del prezzo del prodotto nel mercato primario. Tale valore rappresenta il prezzo massimo ottenibile ma è probabile che nella maggior parte dei casi non sia possibile vendere a tale prezzo. Risulta utile, dunque, confrontare diversi scenari non solo rispetto all'incremento di profitto ottenibile a prezzo massimo ma anche rispetto al “prezzo di rottura” ovvero quel prezzo che rende indifferenti le alternative “non vendere nel mercato secondario” oppure “coprire diverse quote del mercato secondario”.

La Tabella 5-10 riporta i valori del “prezzo di rottura” (p_r) per le diverse configurazioni. Ovviamente per prezzi superiori al valore di rottura è preferibile vendere nel mercato secondario e per prezzi inferiori è preferibile servire esclusivamente il mercato primario.

Tabella 5-10: Valori del prezzo di rottura

	Market 5%	Market 10%	Market 20%
1	38,528	39,327	39,717
2	35,000	37,026	38,164
3	23,212	29,106	33,488
4	34,838	36,629	38,490
5	20,768	25,498	31,805
6	20,252	19,480	24,840
7	21,754	23,455	29,993
8	18,182	18,890	21,478
9	15,168	15,229	16,040
10	35,928	37,713	39,168
11	22,382	27,652	33,600
12	18,052	19,160	24,590
13	21,722	26,942	33,294
14	16,904	17,851	24,339
15	16,094	17,120	18,015
16	16,556	16,991	22,422
17	15,118	14,960	16,259
18	13,626	12,894	13,422

I valori di p_r sono stati determinati imponendo l'uguaglianza tra i profitti delle configurazioni in presenza ed assenza di vendite nel mercato secondario:

$$\pi_{nmsu} = \pi_{msu} + (p_r - p_{MAX}) * \frac{N_{s2}}{\text{tempo del run di simulazione}} \quad ^{36}$$

Equazione 5-12

ottenendo:

$$p_r = -(\pi_{msu} - \pi_{nmsu}) * \frac{\text{tempo run simulazione}}{N_{s2}} + p_{MAX}$$

Equazione 5-13

Dalla Equazione 5-12 si nota che il legame tra prezzo vendita nel mercato secondario e Δ_π % è di diretta proporzionalità. Quindi, il grafico $p - \Delta_\pi$ % sarà una retta, la cui intersezione con l'asse delle ascisse rappresenta il prezzo di rottura (Figura 5-25).

³⁶ Nel caso in esame il valore corrispondente alla durata della singola iterazione, transitorio escluso, è 30.000h.

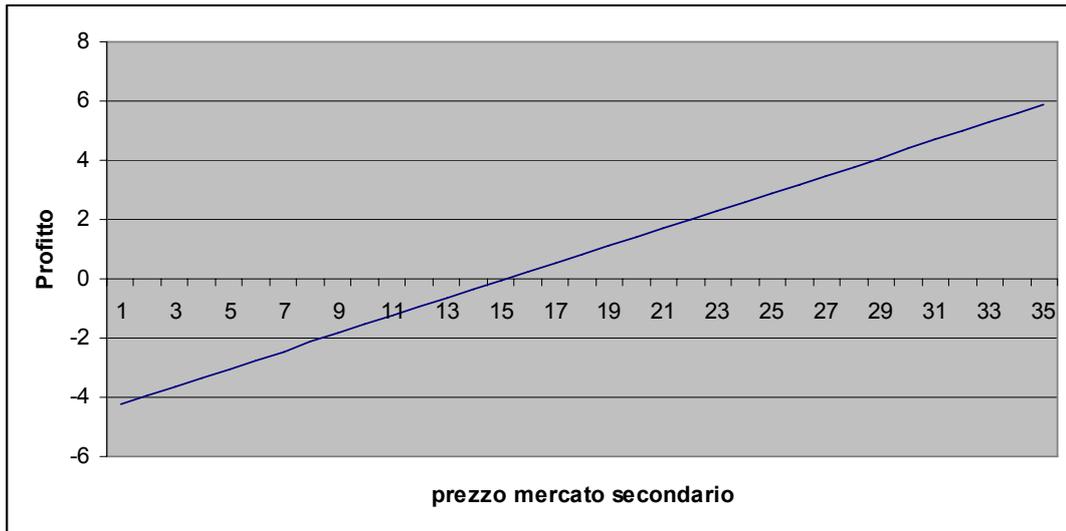


Figura 5-25: Configurazione 9, M.S.=10% : prezzo di rottura

Per alcune configurazioni il prezzo di rottura è superiore al valore massimo ammissibile ($p_{MAX}=35$), il grafico, quindi, sarà interamente al di sotto dell'asse delle ascisse nell'intervallo di prezzo 0-35 (Figura 5-26).

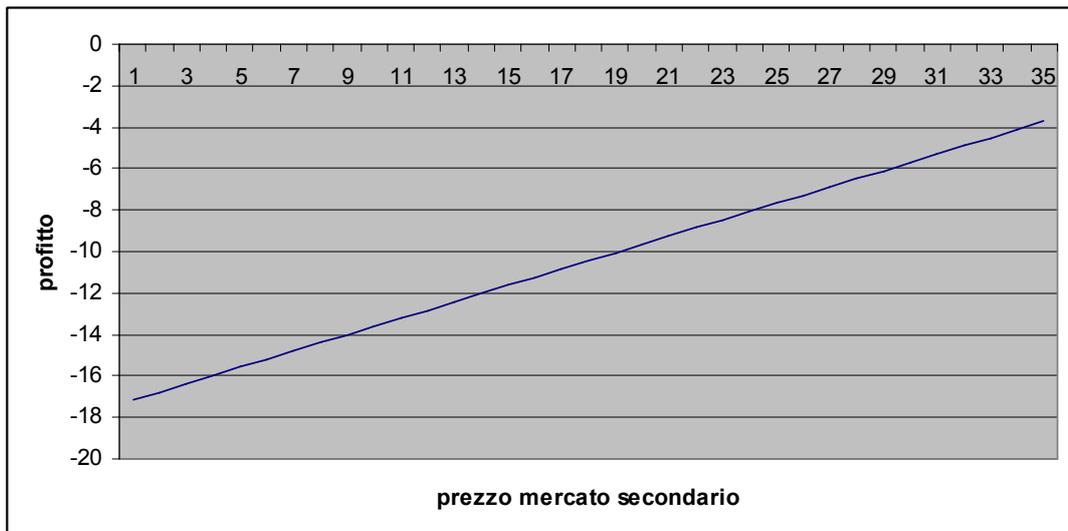


Figura 5-26: Configurazione 1, M.S.=20%: prezzo di rottura.

Dai valori riportati in Tabella 5-10 si evince che anche il prezzo di rottura è influenzato dai fattori considerati in precedenza, è utile, quindi, valutare la significatività di tali fattori, e delle relative interazioni (Figura 5-27).

Response	1	prezzo di rottura				
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	3733.24	25	149.33	22.34	< 0.0001	significant
A-tasso di ritorno	1161.55	2	580.78	86.89	< 0.0001	
B-mix ritorno	1727.65	2	863.82	129.24	< 0.0001	
C-tasso utilizzo	436.81	1	436.81	65.35	< 0.0001	
D-Dimensione mercato	260.01	2	130.00	19.45	< 0.0001	
AB	94.60	4	23.65	3.54	0.0186	
AC	5.42	2	2.71	0.41	0.6703	
AD	7.92	4	1.98	0.30	0.8780	
BC	15.33	2	7.67	1.15	0.3321	
BD	23.40	4	5.85	0.88	0.4912	
CD	0.55	2	0.28	0.041	0.9596	
Residual	187.15	28	6.68			
Cor Total	3920.39	53				

Figura 5-27: Analisi ANOVA per il prezzo di rottura

I fattori risultano tutti significativi, mentre tra le interazioni risulta significativa solo quella tra tasso di ritorno e mix di ritorno (Figura 5-28, Figura 5-29, Figura 5-30, Figura 5-31).

Valori bassi del prezzo di rottura consentono di avere intervalli di prezzo ($p_{MAX} - p_r$) per i quali la vendita nel mercato secondario è conveniente, più ampi. Quindi, un valore basso è preferibile poiché la particolare configurazione associata a quel prezzo è vantaggiosa per un numero maggiore di prezzi.

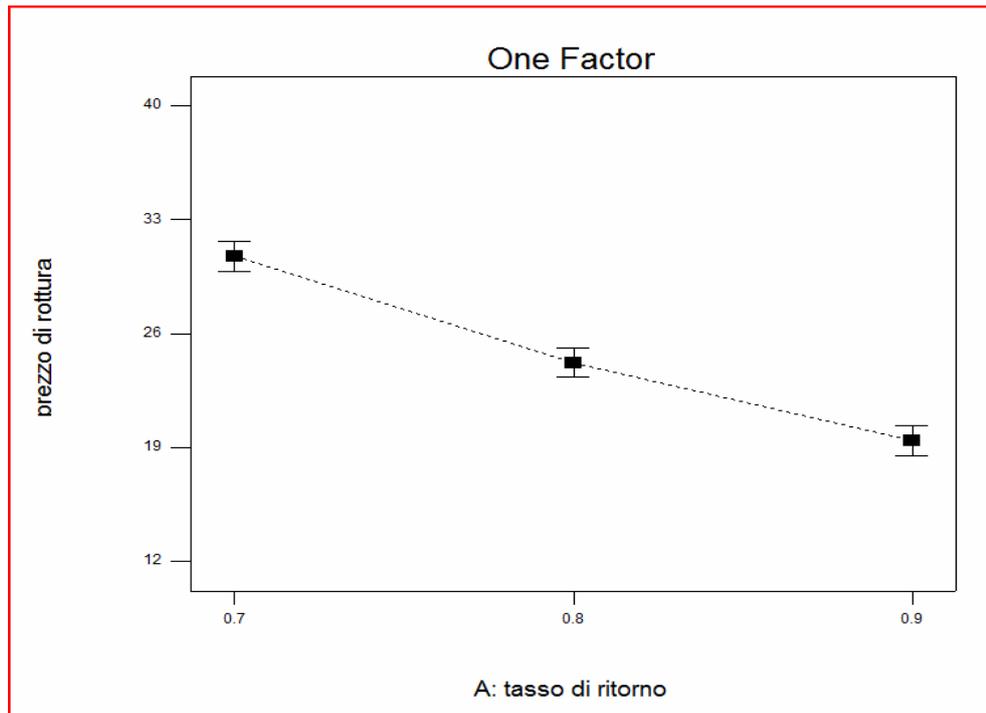


Figura 5-28: Effetto principale del tasso di ritorno

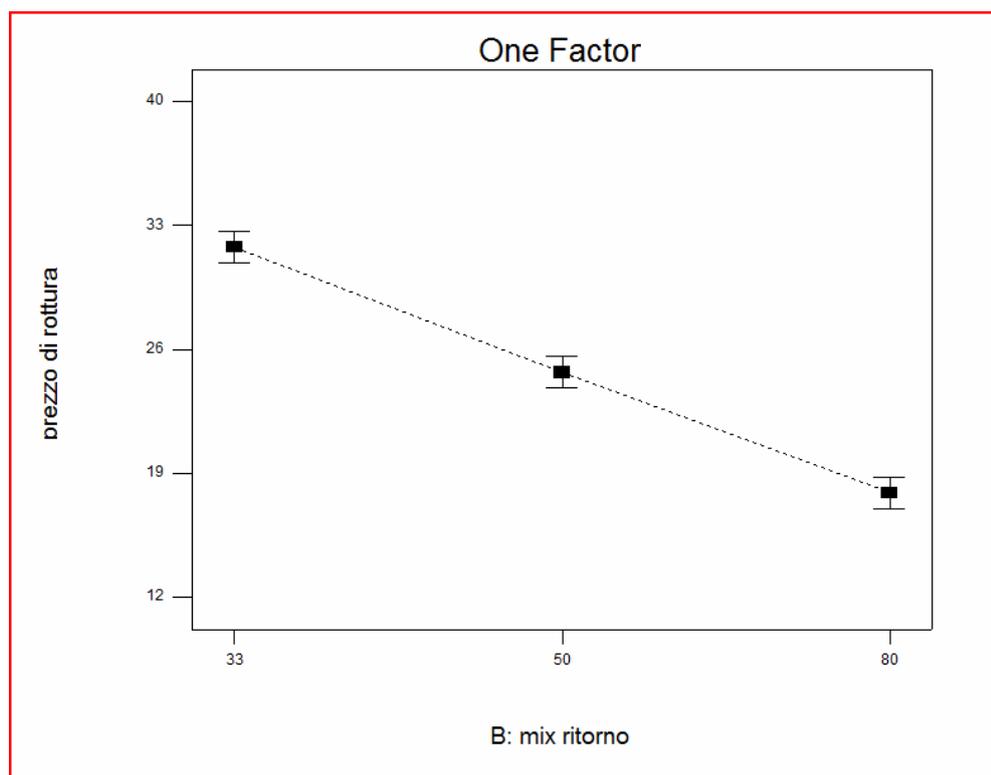


Figura 5-29 – Effetto principale del mix ritorno

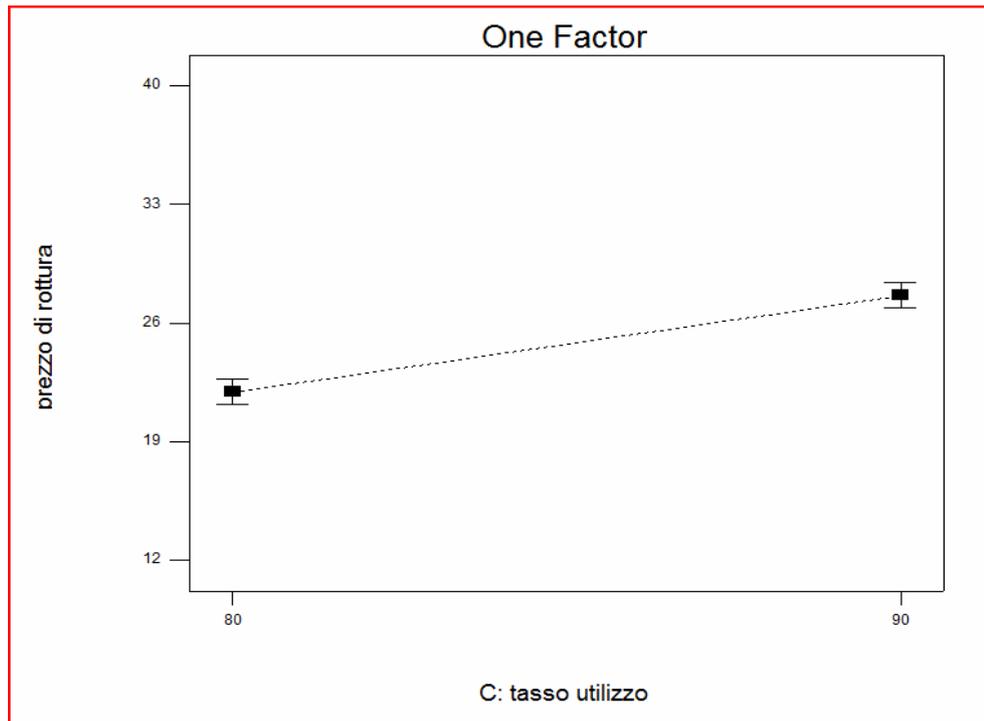


Figura 5-30: Effetto principale: tasso di utilizzo

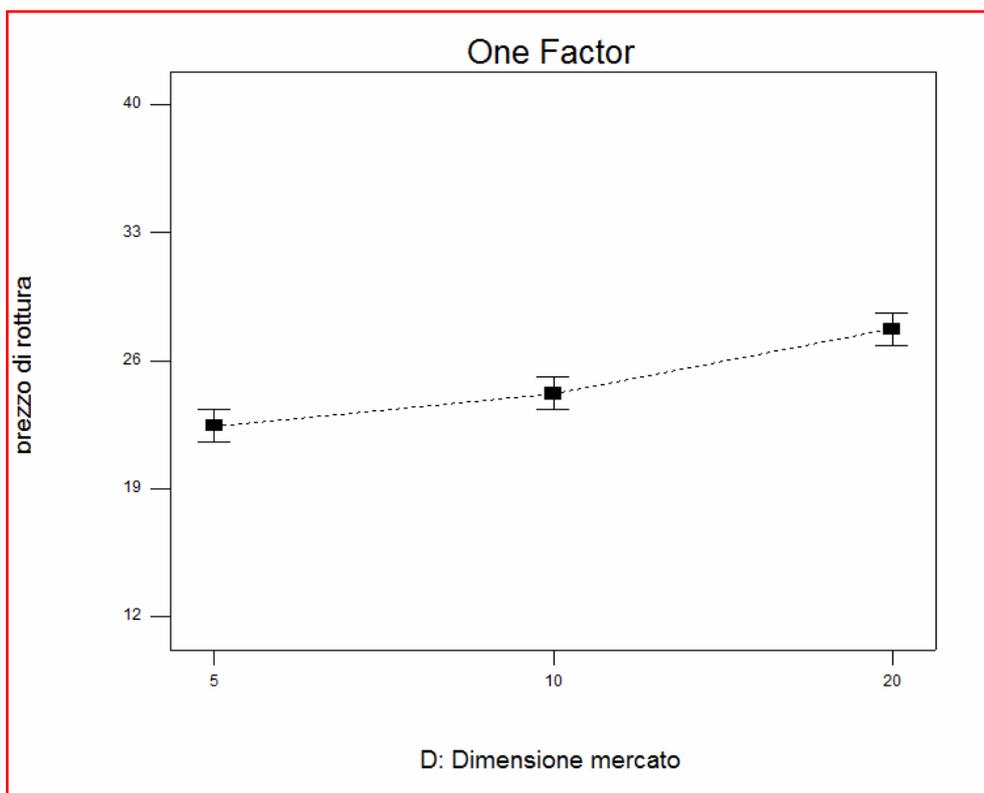


Figura 5-31: Effetto principale: dimensione mercato secondario

L'aumento della quantità e della qualità dei ritorni ha, analogamente a

quanto visto nel caso delle variazioni di profitto, un effetto positivo sul prezzo di rottura. Un numero maggiore di unità da rifabbricare consente di “sacrificare” ad un prezzo più basso parte di tale flusso.

In questo caso l’aumento della dimensione del mercato secondario ha un effetto negativo (aumento) sul prezzo di rottura. Questo risultato rispecchia il fatto che aumentando l’utilizzo del ramo produttivo dell’impianto (a causa dell’aumento di domanda nel mercato secondario) diminuisce il profitto derivante dal mercato primario e il solo aumento del numero di vendite nel mercato secondario non riesce a compensare il calo nel mercato primario. Di conseguenza il prezzo necessario per rendere indifferenti le due alternative, quindi, aumenta.

Complessivamente, dunque, l’aumento delle dimensioni del mercato secondario da un lato comporta un incremento di profitto e dall’altro riduce l’intervallo di prezzi utile per realizzare tale incremento.

Per quanto riguarda il coefficiente di utilizzazione, il discorso è simile a quanto visto precedentemente (è preferibile averne valori bassi). La maggiore capacità produttiva consente di mantenere un livello di servizio più elevato nel mercato primario.

Il fattore che fa registrare il miglior abbattimento del prezzo di rottura è il mix dei ritorni (17.91), seguito dal tasso di ritorno (19.43), tasso di utilizzo (21.95) e dimensione del mercato secondario (22.44).

Tasso di ritorno e mix dei ritorni agiscono sul prezzo di rottura in modo analogo, quindi l’aumento simultaneo di entrambi amplifica il beneficio sul prezzo di rottura (Figura 5-32).

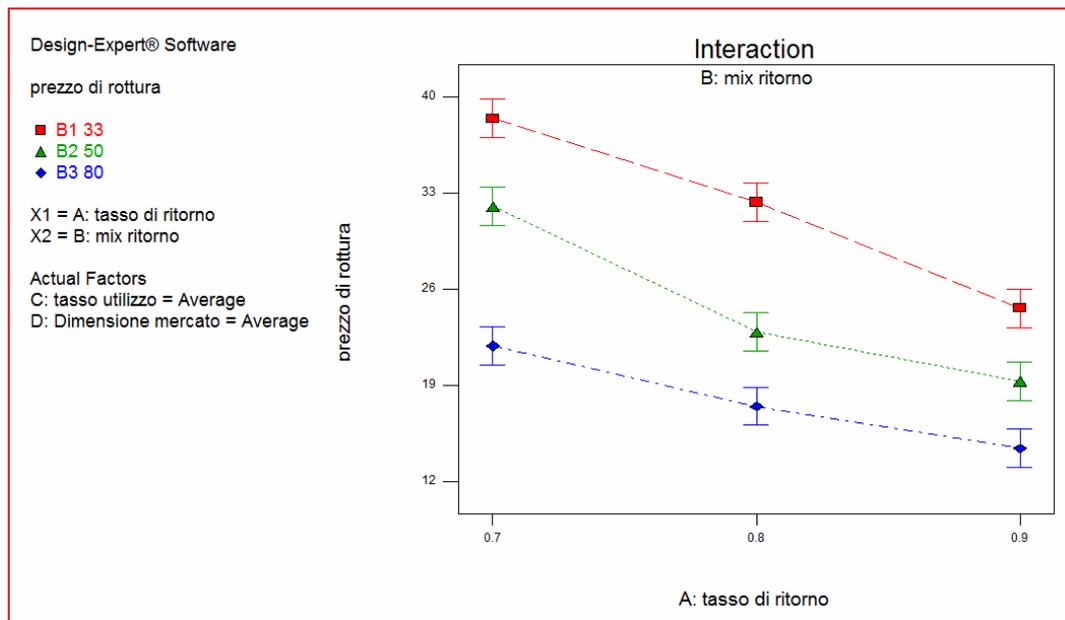


Figura 5-32: Interazione tasso di ritorno e mix ritorno

5.6 Dimensione ottimale del mercato secondario

Dai grafici in Figura 5-22 e Figura 5-24 si può dedurre che, fissati i prezzi di vendita nel mercato primario e nel mercato secondario, esiste una quantità ottimale di prodotti da utilizzare per il mercato secondario.

La valutazione di questa quantità è particolarmente utile e richiede una modifica al modello di simulazione utilizzato in precedenza. La quantità di prodotti da mandare nel mercato secondario, infatti, in questa valutazione, non è più un fattore nel piano degli esperimenti ma è una nuova variabile decisionale.

La quantità ottimale da destinare al mercato secondario sarà, ovviamente, funzione dei prezzi di vendita nei due mercati. Ad esempio un aumento del prezzo di vendita nel mercato secondario comporterà un aumento della quantità di ritorni di qualità elevata destinata a tale mercato. È interessante, quindi, scelta una determinata configurazione sperimentale, ricavare delle *superfici di risposta* del profitto e della quantità destinata al mercato secondario al variare dei prezzi nei due mercati.

Utilizzando il software Design Expert 7.0, sono state, poi, rappresentate le variazioni del profitto e della quantità venduta nel mercato secondario in

funzione dei suddetti prezzi di vendita.

La configurazione di prova scelta (configurazione 5 cfr. Tabella 5-7) è caratterizzata da un tasso di ritorno dell'80%, un mix qualitativo "50, 30, 20" ed un coefficiente di utilizzazione del sistema pari al 90%. Tale configurazione si colloca in una posizione "centrale" nel piano degli esperimenti e rappresenta le condizioni di ritorno tipiche di un prodotto nella fase di maturità (Van Deer Laan, et al., 1997), un mix del livello qualitativo realistico (Ferguson, et al., 2006), e rispecchia il funzionamento di tali tipologie di sistemi produttivi (Behret, et al., 2007; Behret, et al., 2005). Inoltre le analisi effettuate in seguito sono facilmente estendibili alle altre configurazioni alla luce delle osservazioni fatte in precedenza in merito agli effetti delle variazioni dei fattori considerati. Ad esempio un aumento del tasso di ritorno provocherà un aumento sia del profitto che del numero di unità destinate al mercato secondario.

Per quanto riguarda la variazione del profitto, si nota ovviamente che il profitto aumenta all'aumentare dei due prezzi di vendita (Figura 5-33, Figura 5-34).

È interessante sottolineare che il profitto è molto più sensibile al prezzo di vendita nel mercato primario rispetto al prezzo di vendita nel mercato secondario (Figura 5-35). Tale risultato può essere spiegato considerando che l'impatto sui ricavi dovuto ad una diminuzione del prezzo di vendita, è molto maggiore nel caso del mercato primario in quanto il numero di unità vendute è più elevato.

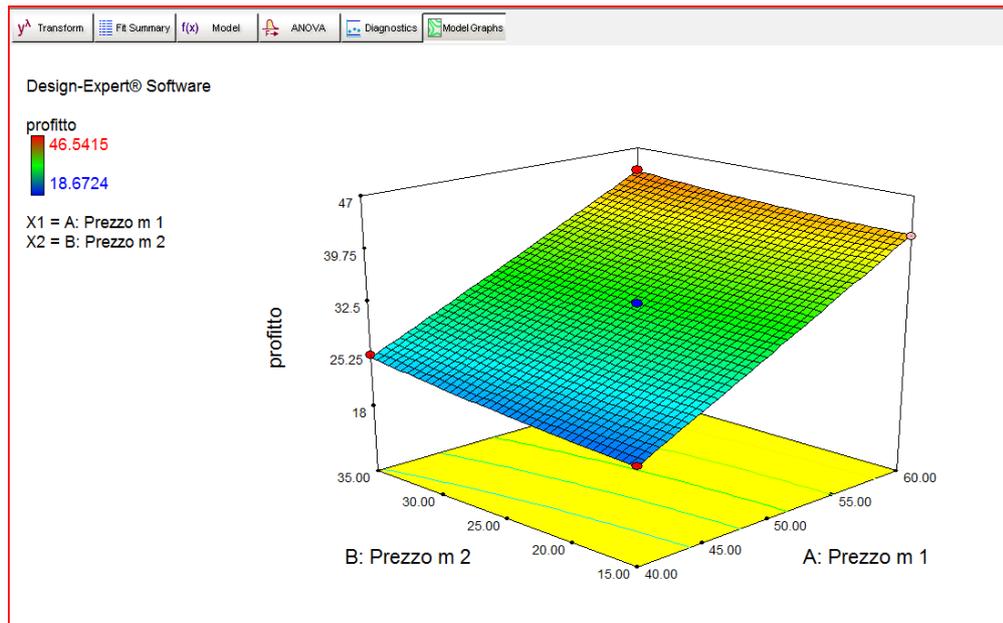


Figura 5-33: Superficie di risposta del profitto

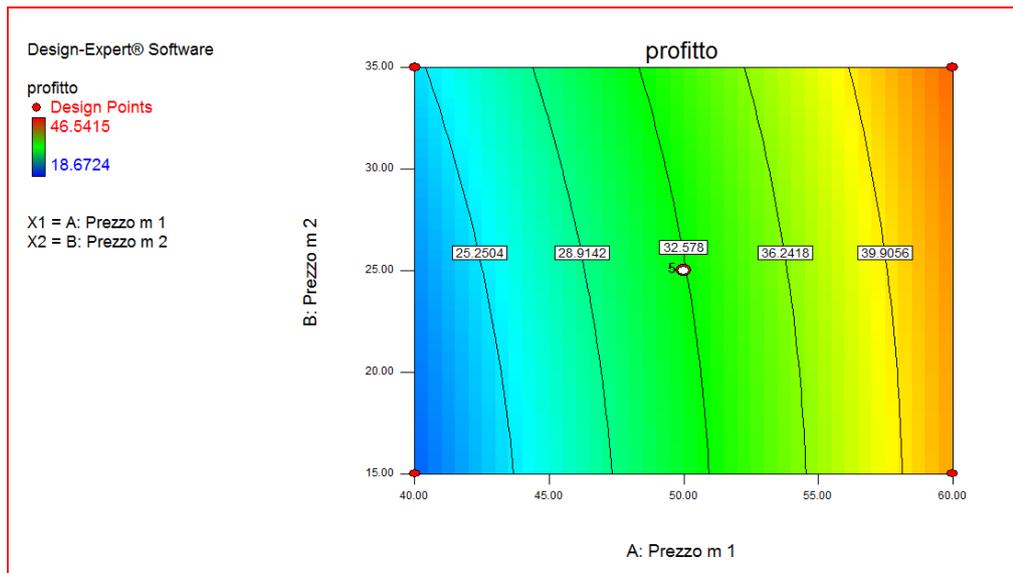


Figura 5-34: Curve di risposta del profitto

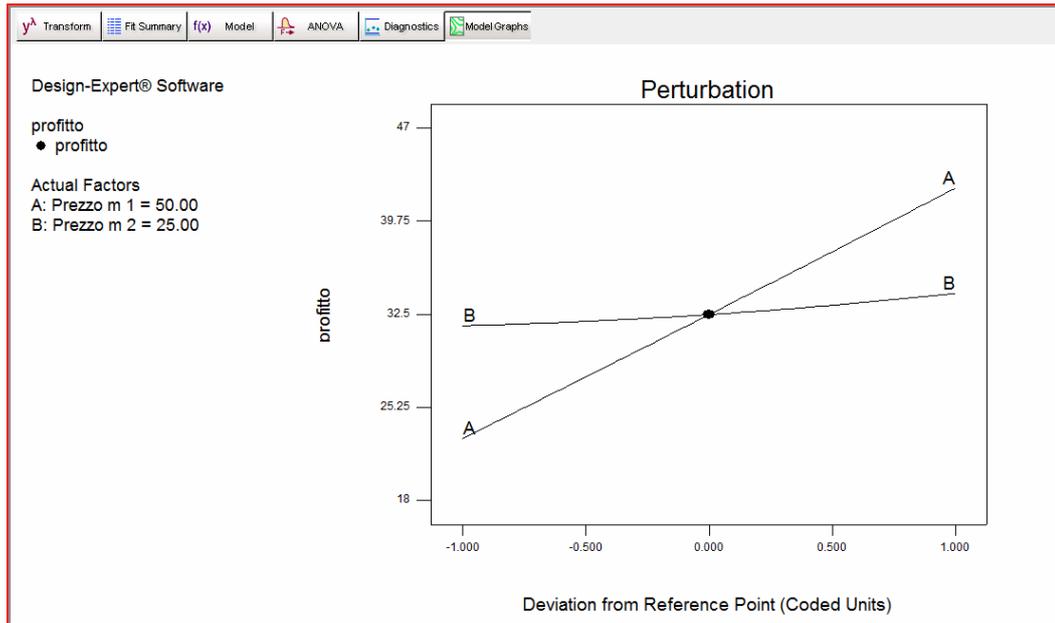


Figura 5-35- Perturbazione del profitto

Considerando, invece, la variazione della quantità inviata nel mercato secondario (valutata come percentuale dei ritorni di qualità elevata utilizzati per il mercato secondario) al variare dei prezzi di vendita, si ottengono i grafici riportati in Figura 5-36e Figura 5-37.

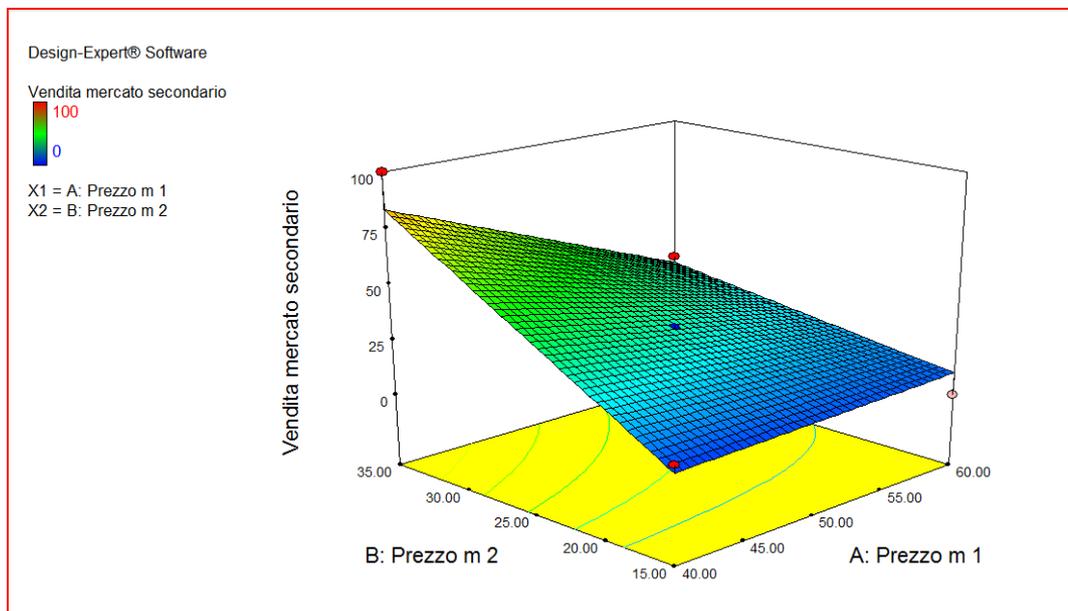


Figura 5-36: Quantità venduta nel mercato secondario: superficie di risposta in 3-D

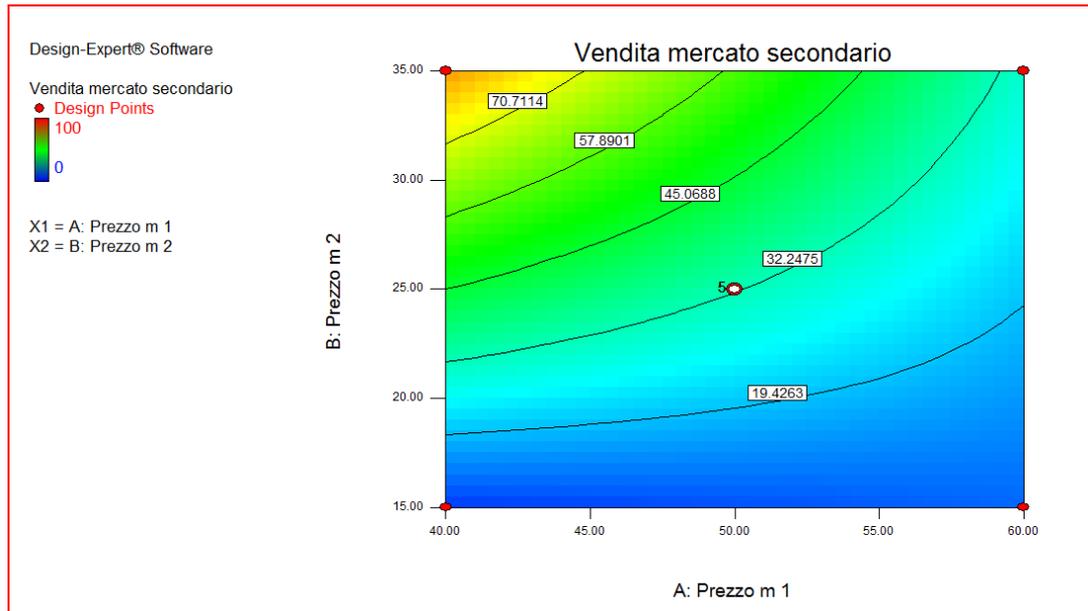


Figura 5-37: Superficie di risposta: quantità venduta nel mercato secondario

La quantità venduta nel mercato secondario è sensibile soprattutto alla variazione del prezzo nel mercato secondario (Figura 5-38).

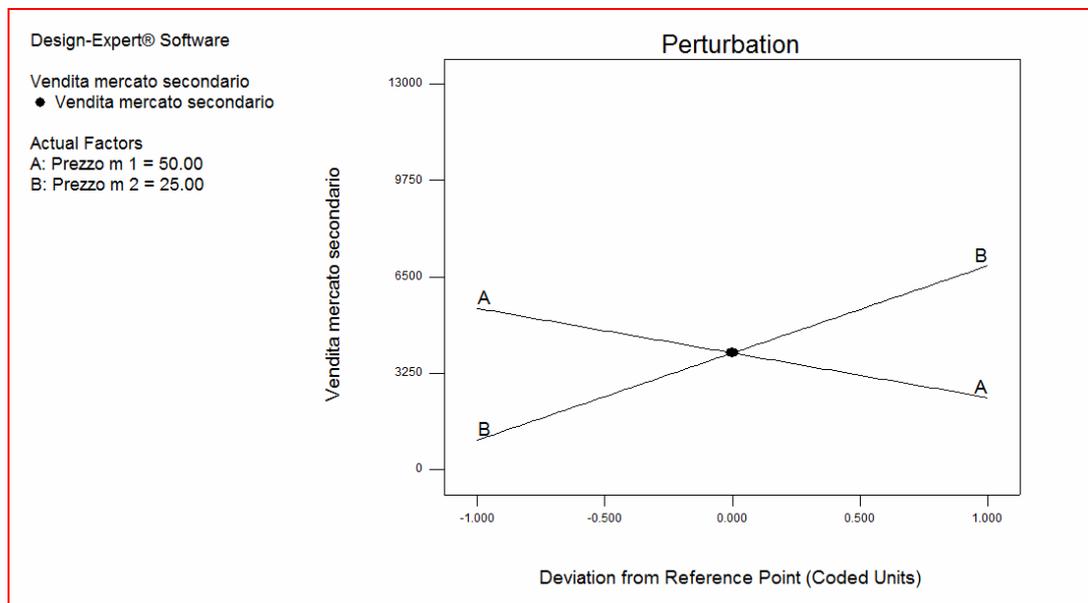


Figura 5-38: Perturbazione della quantità venduta nel mercato secondario

5.7 La gestione del mercato secondario

Le analisi effettuate in precedenza consentono di valutare la convenienza di servire il mercato secondario rispetto a fattori legati al sistema logistico inverso (r), al prodotto (mix qualitativo) e al mercato (prezzi).

Tali fattori sono esterni al sistema produttivo, quindi l'analisi effettuata in precedenza ha un valore “*strategico*”. Nel caso in cui ci sia convenienza nel servire un mercato secondario, si pone il problema di organizzare il sistema produttivo in modo da gestire al meglio questa nuova domanda ovvero analizzare il sistema più dettagliatamente in modo da ottenere delle regole operative per gestire il sistema produttivo.

A tale scopo verranno confrontate tre strategie di controllo delle scorte da utilizzare per il mercato secondario: due di tipo PUSH e una di tipo PULL. Nel confrontare queste tre strategie di controllo, verrà effettuata una modifica al modello di simulazione del sistema in modo da rendere più reale il processo di vendita nel mercato secondario.

Anche se mediamente il mercato secondario è in grado di assorbire la quota di prodotti di qualità elevata non utilizzata il mercato primario, è opportuno modellare la domanda del mercato secondario tenendo conto dei tempi di attesa tra due richieste successive nel mercato secondario.

Si rende necessario, quindi, un magazzino di prodotti destinati al mercato secondario in modo da poter soddisfare la domanda proveniente dal mercato secondario nel momento in cui essa si manifesta. Tale domanda sarà modellata come un processo di Poisson di parametro $\gamma_{MS} = k_I * r * \gamma$. Tale valore rappresenta la quantità di ritorni di qualità elevata che rientrano nel sistema produttivo. Quindi mediamente il mercato secondario è in grado di assorbire tutti i ritorni di qualità elevata. I costi di mantenimento per il magazzino dei prodotti destinati al mercato secondario viene utilizzata la “*metodologia tradizionale*” (Teunter, et al., 2000).

A differenza del mercato primario che rappresenta il business principale, per il mercato secondario non è prevista la vendita in backorder.

Per valutare l'efficacia delle diverse politiche di controllo di magazzino, i

costi di mantenimento vengono *amplificati* in modo da ottenere una loro incidenza sui costi complessivi di circa il 15%. Tale incremento, infatti, rende maggiormente visibile l'impatto delle politiche di controllo sul funzionamento del sistema.

5.7.1 Le strategie di controllo analizzate

Nell'analisi che segue saranno confrontate le prestazioni di tre diverse politiche di gestione del mercato secondario: politica PUSH, politica PUSH 2 e politica PULL.

In particolare la strategia di controllo "*PUSH*" ottimizza la percentuale di unità da mandare nel mercato secondario nell'orizzonte di tempo considerato. Viene calcolata, quindi, la percentuale di ritorni di qualità elevata da mandare nel mercato secondario. Tale strategia non considera lo stato dei magazzini nel momento in cui arriva un prodotto di qualità elevata ma "*spinge*", secondo una certa probabilità (K_{PUSH}), l'unità o nel magazzino dei prodotti destinati al mercato secondario oppure nel ramo di rifabbricazione.

La strategia di controllo "*PUSH 2*" funziona in modo analogo al meccanismo di smaltimento dei ritorni in eccesso. Viene fissato un livello massimo (K_2) per il buffer 2 (buffer relativo ai ritorni di qualità elevata) e quando il numero di unità presenti supera il livello stabilito, le unità in eccesso vengono trasferite nel magazzino prodotti finiti destinati al mercato secondario. Quindi, dopo aver fissato il livello di magazzino massimo, il sistema "*spinge*" i prodotti di qualità elevata senza controllare lo stato degli altri magazzini.

La strategia di controllo "*PULL*", invece, nel momento in cui entra nel sistema un'unità di qualità elevata, controlla il livello di giacenza nel magazzino prodotti finiti destinati al mercato primario, nel caso in cui il livello del magazzino è minore di " K_{PULL} " manda l'unità nel ramo di rifabbricazione altrimenti viene utilizzata per servire il mercato secondario. L'unità viene quindi "*tirata*" dal magazzino prodotti finiti del mercato primario.

I valori di K_{PUSH} e K_{PULL} saranno ovviamente considerati variabili e quindi tali variabili saranno utilizzate per ottimizzare la funzione obiettivo.

Nei sistemi ibridi di fabbricazione solitamente viene effettuato un confronto tra strategie PUSH e PULL, ma tali strategie controllano il meccanismo di rilascio ordini del ramo di fabbricazione. Con la strategia PUSH tutti i ritorni sono rifabbricati prima possibile (appena è disponibile un certo lotto di ritorni) mentre con la strategia PULL i ritorni sono rifabbricati il più tardi possibile (il lotto disponibile per la rifabbricazione viene trattenuto finché il livello del magazzino dei prodotti finiti non scende al di sotto di un certo valore). La scelta è tra rifabbricare oppure trattenere i core a magazzino per poi rifabbricarli successivamente. In questi casi, l'utilizzo di una strategia PULL è determinato dal fatto che il costo di mantenimento dei core aumenta con il procedere del processo di rifabbricazione. Si valuta quindi l'opportunità di trattenere le unità restituite nei magazzini a monte in modo da sostenere costi di mantenimento minori. Tale politica riduce le dimensioni del magazzino dei prodotti finiti riducendo il costo di mantenimento ma aumentando il rischio di ritardi e stock out.

Van Deer Laan et al. hanno confrontato le due strategie in tale ambito. All'aumentare della differenza tra i costi di mantenimento del magazzino dei core e quello dei prodotti finiti, la strategia PULL diventa sempre più conveniente. Nel caso in cui tali costi siano uguali (ipotesi poco realistica) è preferibile utilizzare una strategia PUSH (Van Deer Laan, et al., 1999).

5.7.2 Regole di priorità nel processo di rifabbricazione

La prestazione della strategia di controllo PUSH 2 è influenzata dalla particolare regola di priorità utilizzata per la rifabbricazione.

Il processo di rifabbricazione, infatti, è alimentato da tre buffer differenti i quali contengono rispettivamente core di qualità elevata, media e bassa. La scelta di quale tipologia di core rifabbricare per prima influenza il numero di core presenti nei buffer e di conseguenza cambia il modo in cui viene servito il mercato secondario sia rispetto al numero di unità inviate nel magazzino dei prodotti destinati al mercato secondario sia rispetto al tempo trascorso tra due invii di prodotti nel mercato secondario.

Quindi è opportuno, per non inficiare il confronto con le altre strategie di controllo, scegliere tra le diverse regole di priorità possibili quella che consente di utilizzare la strategia di controllo PUSH 2 nel modo più efficace.

Behret e Korugan (2005) hanno confrontato, per un sistema analogo a quello in esame, diverse regole di priorità per un processo di rifabbricazione caratterizzato da capacità unitaria ed alimentato da tre differenti buffer corrispondenti a tre livelli qualitativi. In particolare le regole di priorità confrontate sono:

- 1) FIFO (First In First Out)
- 2) 1, 2, 3³⁷
- 3) 2, 1, 3
- 4) 3, 2, 1

Le regole di priorità 2 e 3 sono quelle che permettono di ottenere un costo di funzionamento del sistema più basso. Convienne quindi dare priorità ai prodotti di qualità maggiore.

Nel caso in esame si pone il problema di valutare la convenienza di posticipare la rifabbricazione dei prodotti di qualità elevata in modo da poter destinare un numero maggiore di tali ritorni al mercato secondario.

Le regole di priorità analizzate per la strategia PUSH 2 sono:

- 1) FIFO
- 2) 1, 2, 3
- 3) 2, 1, 3
- 4) 2, 3, 1

Il grafico riportato in Figura 5-39 rappresenta i risultati ottenuti in seguito all'analisi effettuata sul funzionamento delle regole di priorità per la strategia PUSH 2. A differenza di quanto ottenuto da Behret e Korugan, la regola di priorità 2 (1, 2, 3) risulta poco efficace in quanto assegnando una priorità maggiore ai prodotti di qualità elevata il sistema non riesce a servire

³⁷ Si osservi che coerentemente alla notazione già adottata, l'indice 1 rappresenta i prodotti restituiti di qualità elevata, l'indice 2 i prodotti restituiti di qualità media e l'indice 3 quelli di qualità bassa.

opportunamente il mercato secondario. Infatti, con tale regola di priorità, il livello del Buffer 2 si mantiene basso e non si verifica un numero sufficiente di vendite nel mercato secondario.

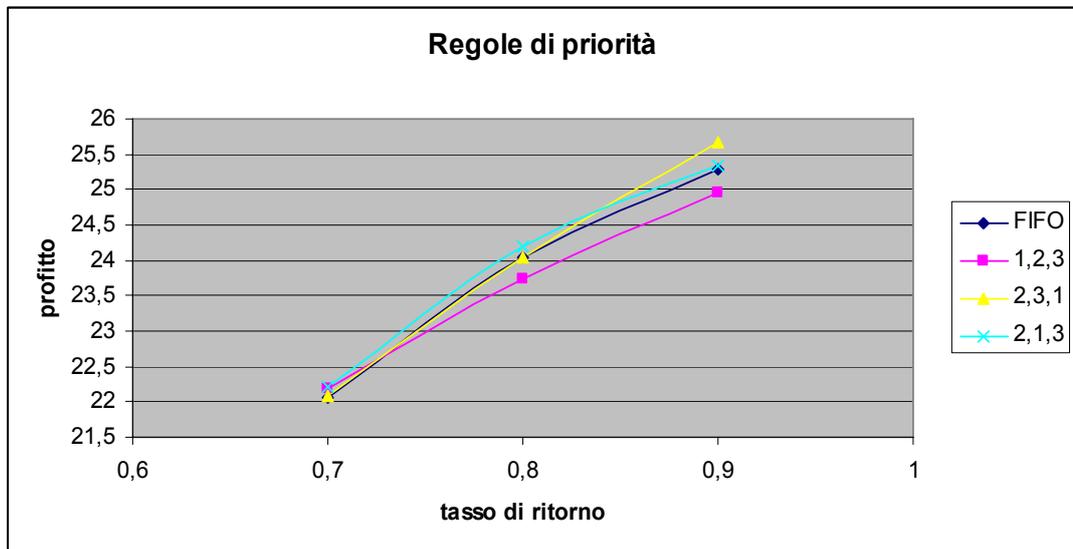


Figura 5-39: Analisi regole di priorità

Per poter comprendere l'andamento delle curve bisogna riflettere sul funzionamento della strategia di controllo PUSH 2. Tale strategia fissa un limite al Buffer 2 (magazzino dei ritorni di qualità elevata) e quando il livello di giacenza supera tale limite le unità in eccesso vengono utilizzate per il mercato secondario. Questa regola di controllo non riesce a scegliere esattamente la quantità da mandare nel mercato secondario per massimizzare il profitto. Ad esempio, si supponga che la quantità ottimale da mandare nel mercato secondario sia circa 2000, la regola di priorità in esame manderà invece nel mercato secondario circa 2600 unità nel caso in cui il limite del magazzino è 1 e circa 1400 unità nel caso in cui il limite di magazzino è 2 (è da sottolineare che il limite del magazzino non sarà mai fissato pari a zero in quanto ciò significherebbe utilizzare tutti i ritorni di qualità elevata per il mercato secondario)³⁸. In teoria, partendo dal caso in cui il limite del Buffer 2 è 1, il sistema potrebbe aumentare l'overflow dei core di qualità media e bassa in modo

³⁸ Dall'analisi effettuata nel paragrafo 4.4 è risultato che in nessuna configurazione il sistema ha convenienza ad utilizzare tutti i ritorni di qualità elevata per il mercato secondario in quanto tale scelta provocherebbe una diminuzione del profitto dovuta ad un deterioramento del livello di servizio nel mercato primario.

da ridurre il carico di lavoro sulla risorsa rifabbricazione. Tale riduzione permetterebbe (a parità di limite massimo del Buffer 2) di rifabbricare un numero maggiore di ritorni di qualità elevata riducendo di conseguenza la quantità mandata nel mercato secondario fino a raggiungere una quantità ottimale. Però, agendo in questo modo, il sistema non riuscirebbe a compensare i minori ricavi provenienti dal mercato secondario (il numero di prodotti venduti sul mercato secondario è diminuito) con dei costi di produzione³⁹ più bassi in quanto il numero di prodotti finiti ottenuti con la fabbricazione rimane lo stesso (da un lato aumentano i ritorni di qualità elevata rifabbricati e dall'altro diminuiscono i ritorni di qualità media e bassa rifabbricati). Invece, nel caso in cui il livello massimo del Buffer 2 è 2, il sistema per aumentare il numero di vendite nel mercato secondario dovrebbe avere a disposizione un numero più elevato di ritorni di qualità media e bassa i quali, aumentando l'utilizzazione della stazione di rifabbricazione aumenterebbero la dimensione media delle code e quindi un numero maggiore di prodotti di qualità elevata supererebbe il limite massimo del Buffer 2. Però, questo non è possibile in quanto il sistema non può aumentare la quantità dei ritorni che è un fattore esterno.

Dall'osservazione fatta e dalla Figura 5-39 si può dedurre che al variare del tasso di ritorno e quindi del numero di unità che devono essere rifabbricate, cambia la regola di priorità più conveniente.

Le regole che posticipano la rifabbricazione dei ritorni di qualità elevata tendono a mandare un numero maggiore di prodotti nel mercato secondario. In presenza di tassi di ritorno bassi le regole di priorità funzionano in modo analogo. All'aumentare dei ritorni, invece, aumenta il numero di unità che devono essere rifabbricate e l'effetto delle regole di priorità risulta maggiormente significativo. In particolare, all'aumentare del tasso di ritorno diventano più convenienti quelle regole di priorità che tendono a posticipare la rifabbricazione dei ritorni di qualità elevata.

Analogamente a quanto ottenuto da Behret e Korugan, non è stata individuata una regola che offra per ogni tasso di ritorno considerato la

³⁹ Nell'esempio sono considerate soltanto quelle voci di costo legate al funzionamento del sistema produttivo con un impatto maggiore sul costo totale.

performance migliore. Considerando la somma dei profitti ottenuti per i diversi tassi di ritorno la regola 2,1,3 offre i risultati migliori (Tabella 5-11).

Tabella 5-11: Confronto regole di priorità

	profitto totale
FIFO	71,3724
"123"	70,8628
"213"	71,8582
"231"	71,8109

Nel confronto che sarà effettuato in seguito tra le diverse strategie di controllo, per quanto riguarda la strategia PUSH 2 verrà utilizzata la regola di priorità che offre la miglior performance in base al tasso di ritorno (Tabella 5-12).

Tabella 5-12: Regole di priorità utilizzate per la strategia di controllo PUSH 2

tasso di ritorno	regola di priorità
0,7	213
0,8	213
0,9	231

5.7.3 Confronto delle strategie di controllo dei prodotti destinati al mercato secondario

Il grafico di Figura 5-40 riporta i risultati ottenuti in seguito al confronto delle diverse strategie di controllo.

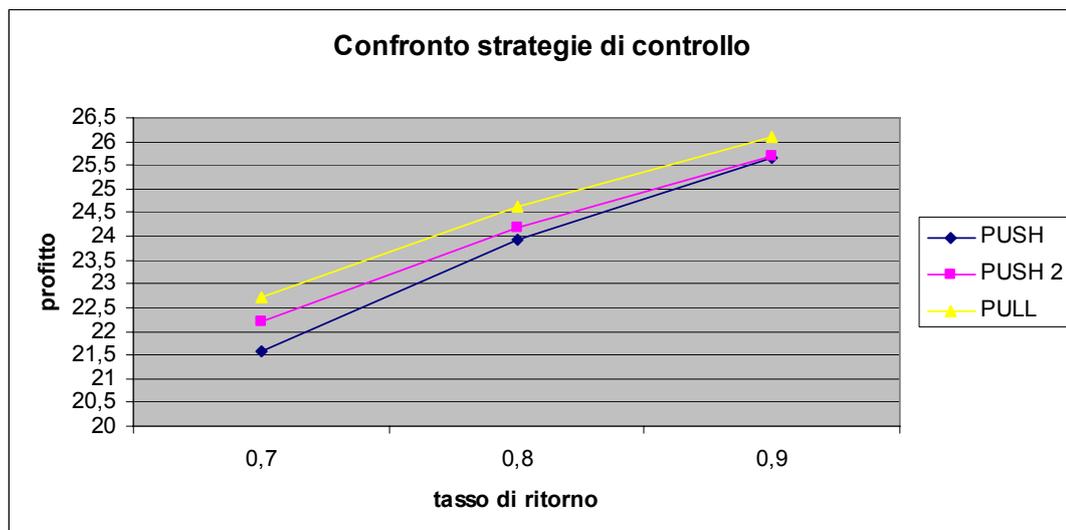


Figura 5-40: Confronto delle strategie di controllo

La strategia che offre i risultati migliori è la strategia PULL, mentre quella che offre risultati peggiori è la strategia PUSH.

Effettuando un confronto tra la strategia PULL e la strategia PUSH è possibile notare che sfruttando le informazioni sulla giacenza del magazzino prodotti finiti, la strategia PULL riesce a servire meglio il mercato primario diminuendo il tempo medio di attesa di una vendita in backorder (Figura 5-41, Figura 5-43: *prodotti in backorder.queue*) e il numero di vendite in ritardo (Figura 5-42, Figura 5-44: *vendita prodotto in backorder*). Tale riduzione è molto importante in quanto il backorder rappresenta una delle voci di costo più significative ed è un parametro che influenza l'immagine dell'azienda.

La strategia PULL, inoltre, manda una quantità maggiore di prodotti nel mercato secondario (Figura 5-42, Figura 5-44: *vendita ms*) anche se i tempi di attesa nel magazzino prodotti finiti destinati al mercato secondario sono sensibilmente maggiori (Figura 5-41, Figura 5-43: *MS.Queue*). L'aumento dei ricavi nel mercato secondario compensa l'aumento dei costi di mantenimento (dovuto ad un maggiore tempo di attesa nel magazzino prodotti finiti destinati al mercato secondario). La strategia PULL, quindi, presenta una gestione migliore del mercato secondario.

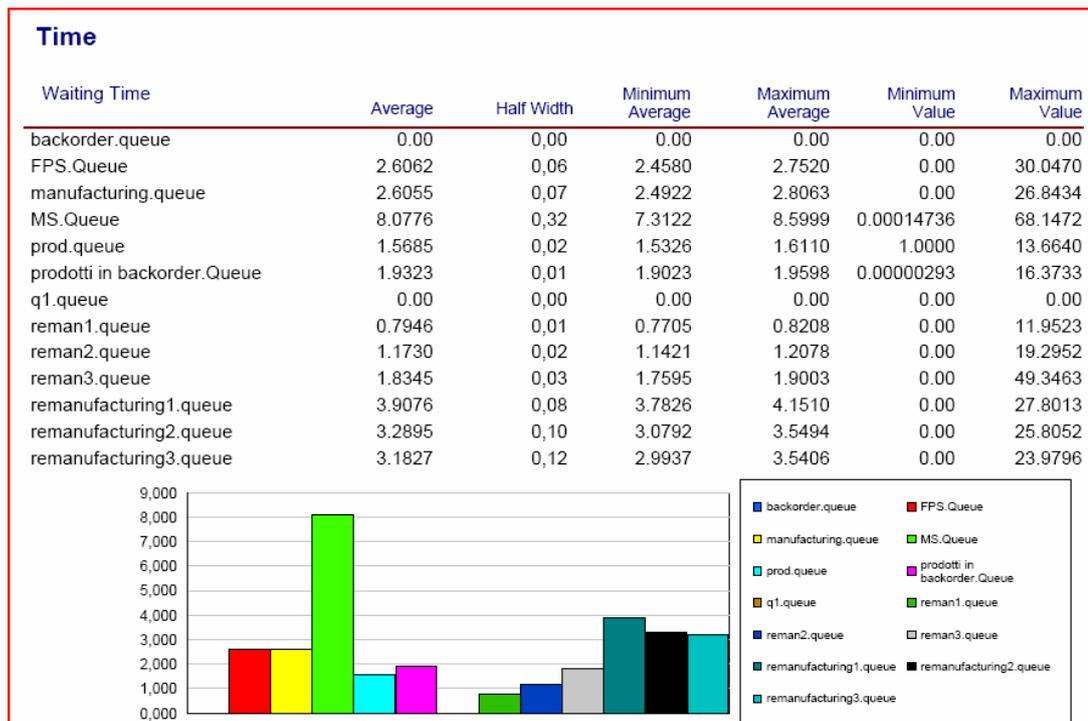


Figura 5-41: Strategia PULL tempi di attesa

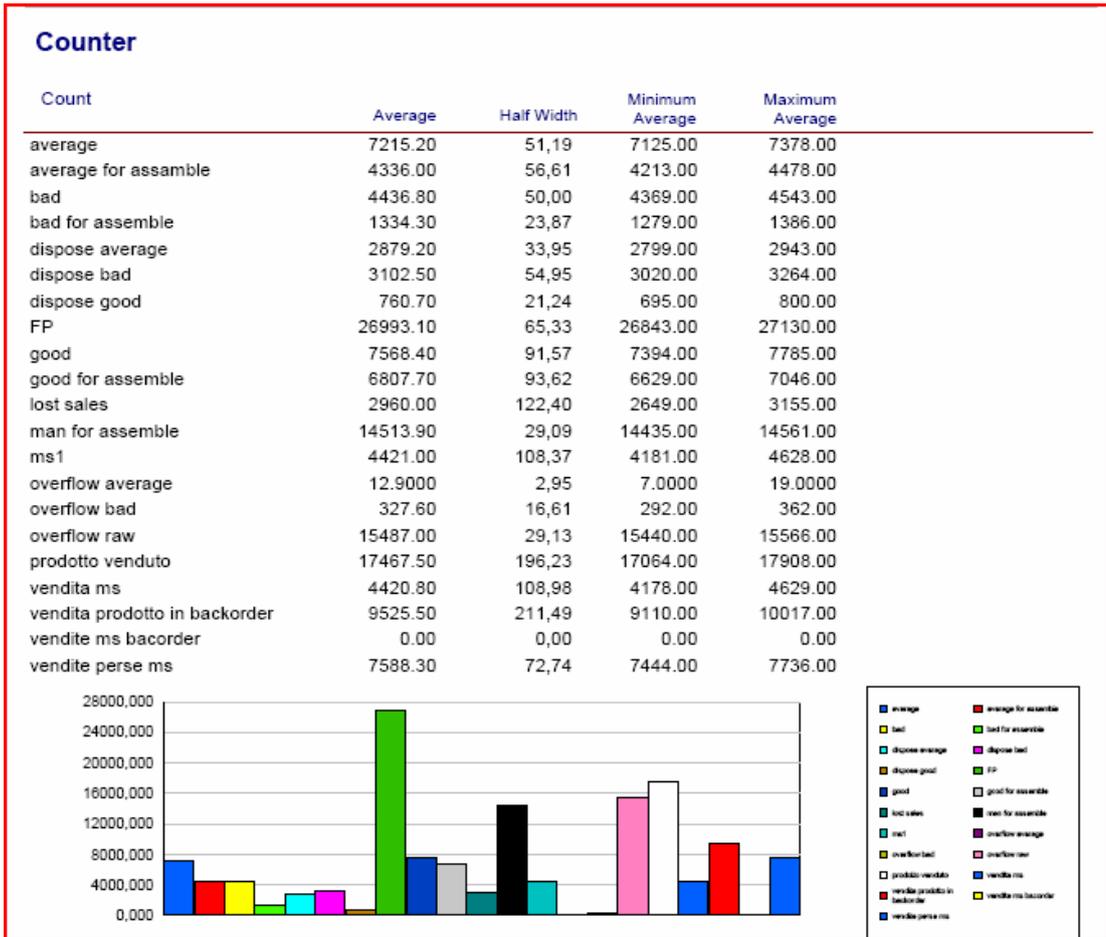


Figura 5-42: Strategia PULL: unità vendute

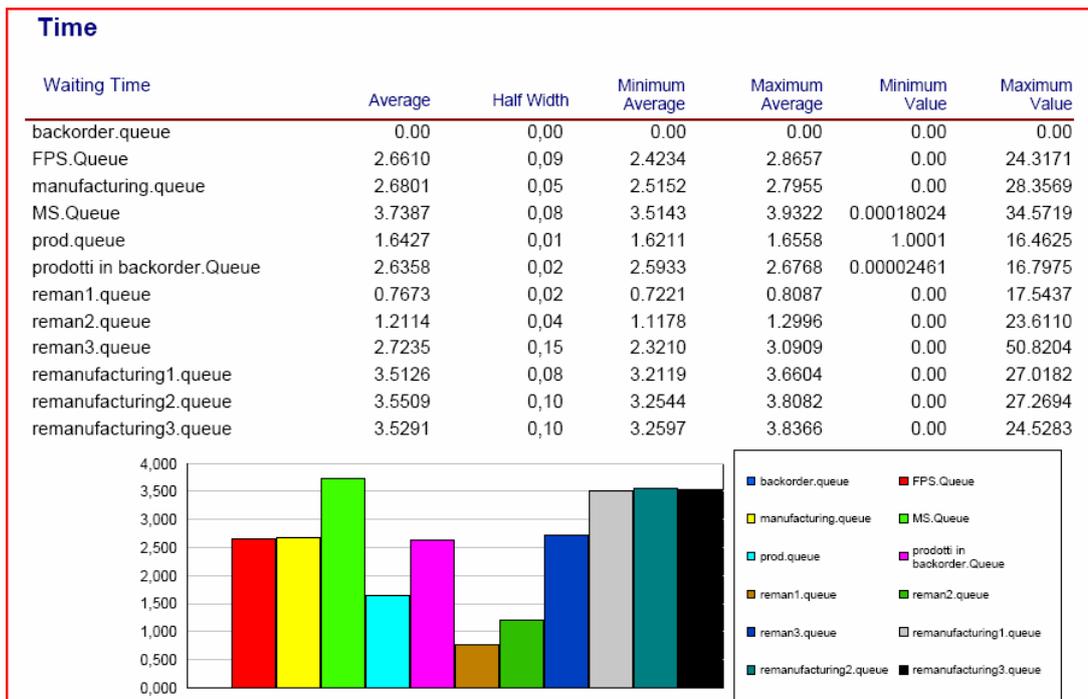


Figura 5-43: Strategia PUSH: tempi di attesa

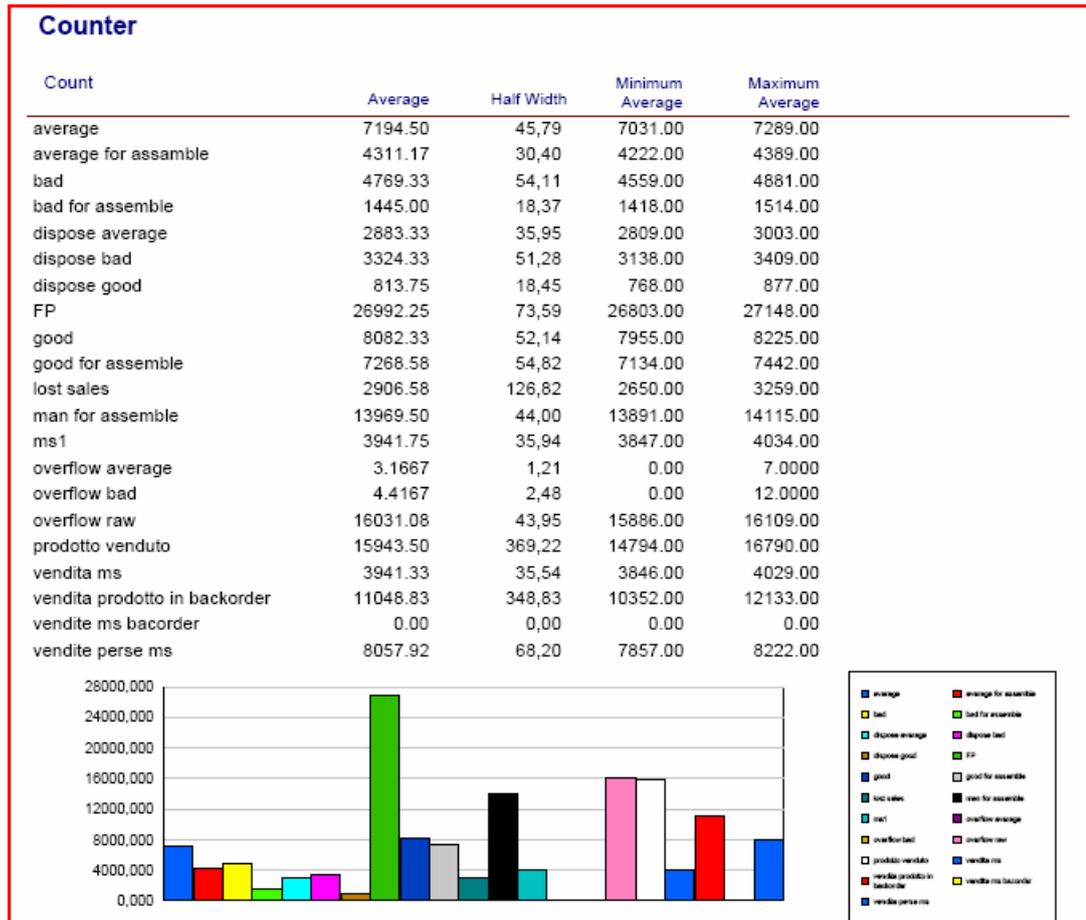


Figura 5-44: Strategia PUSH: unità vendute

Confrontando, invece, le strategie PULL e PUSH 1 è possibile notare che le due strategie offrono prestazioni abbastanza simili riguardo al mercato primario, mentre per il mercato secondario la strategia PUSH 1 risulta poco adeguata in quanto il numero di vendite (e di conseguenza i ricavi) è sensibilmente minore rispetto alle altre strategie di controllo (Figura 5-45: *vendita ms*). Questo risultato conferma quanto detto precedentemente in merito alle difficoltà riscontrate dalla strategia PUSH 1 nel servire il mercato secondario.

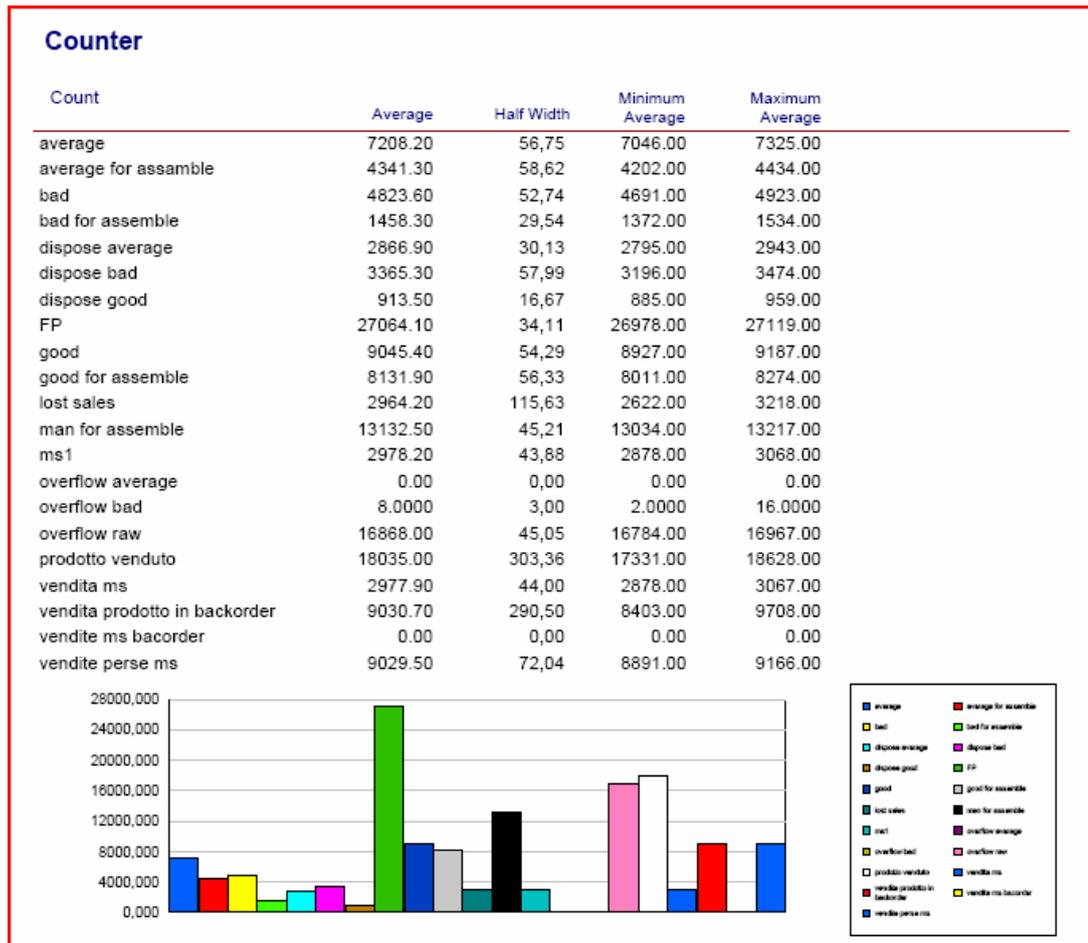


Figura 5-45: Strategia PUSH 1: unità vendute

La strategia PULL ottiene i ricavi maggiori mentre quella PUSH 1 ottiene i costi più bassi (Figura 5-46). La strategia PUSH, invece, pur realizzando maggiori ricavi della strategia PUSH 1 ottiene il profitto più basso in quanto sostiene costi più elevati.

Nella Figura 5-47, Figura 5-48e Figura 5-49 sono riportati rispettivamente i costi, divisi nelle diverse componenti, relativi alle strategie di controllo PULL, PUSH e PUSH1.

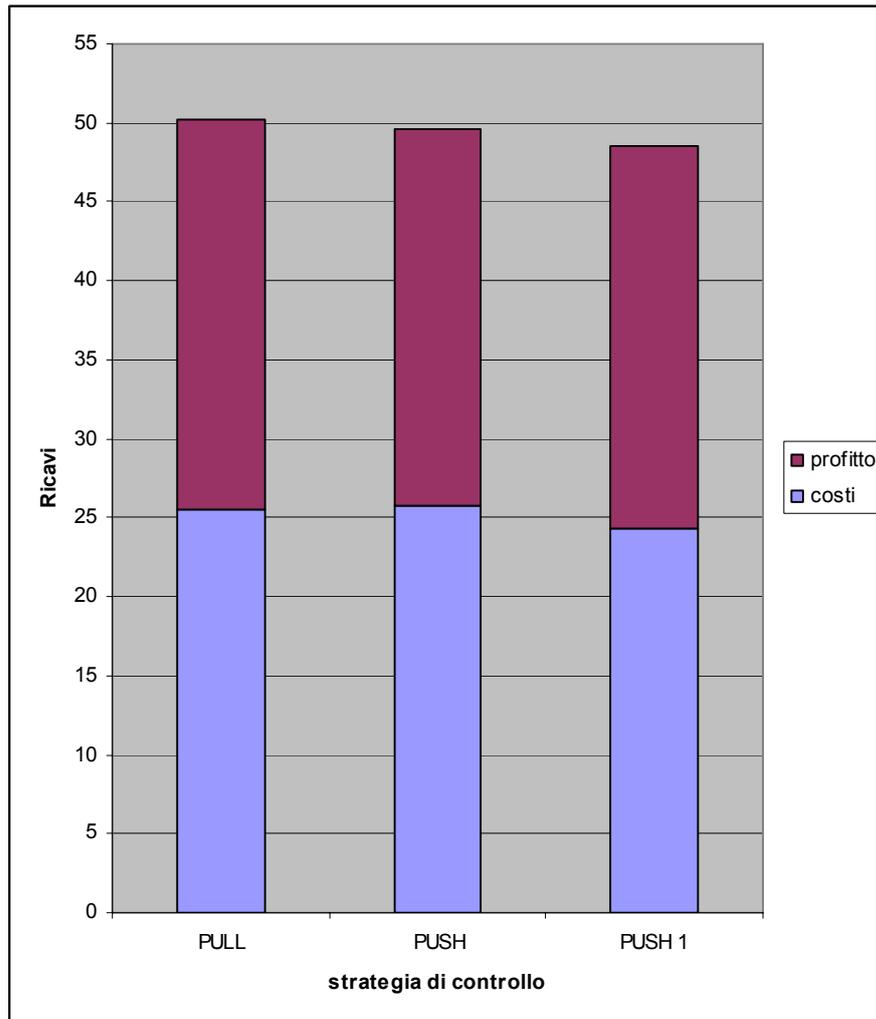


Figura 5-46: Strategie di controllo: costi e ricavi

In Figura 5-50, sono messi a confronto i costi delle diverse strategie di controllo. È possibile notare che la strategia PUSH 1, utilizzando una quantità minore di unità di qualità elevata per il mercato secondario, utilizza una quantità minore di prodotti fabbricati (i costi di fabbricazione sono più bassi) e sostiene costi di mantenimento più bassi (i ritorni di qualità elevata presentano costi di mantenimento più bassi dei prodotti fabbricati). I costi di rifabbricazione sono di poco superiori a quelli sostenuti con le altre strategie di controllo in quanto i prodotti di qualità elevata presentano costi di rifabbricazione bassi. In questo modo la strategia PUSH 1 presenta i costi di funzionamento più bassi. Le strategie PULL e PUSH hanno una struttura dei costi abbastanza simile, la differenza principale riguarda gli elevati costi di backorder sostenuti con la strategia PUSH.

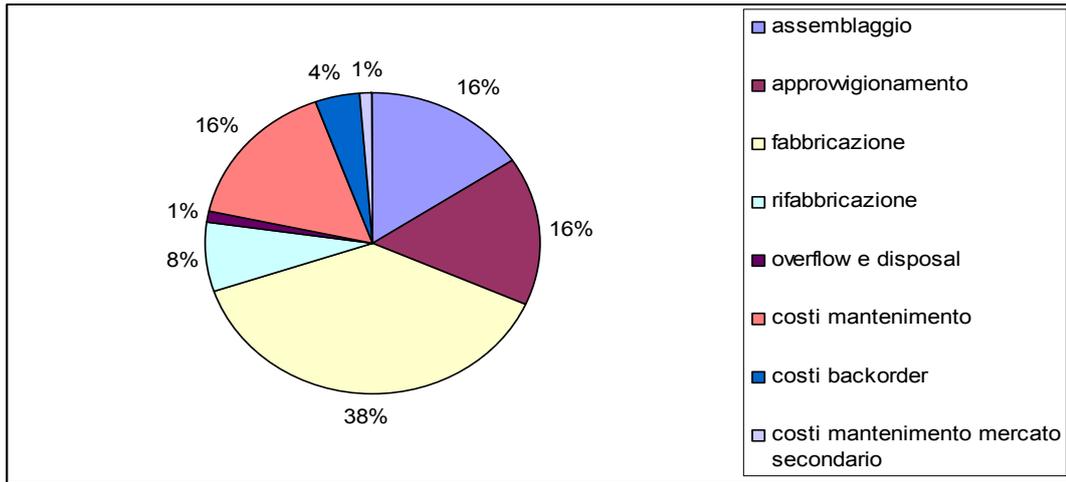


Figura 5-47: Strategia PULL: costi

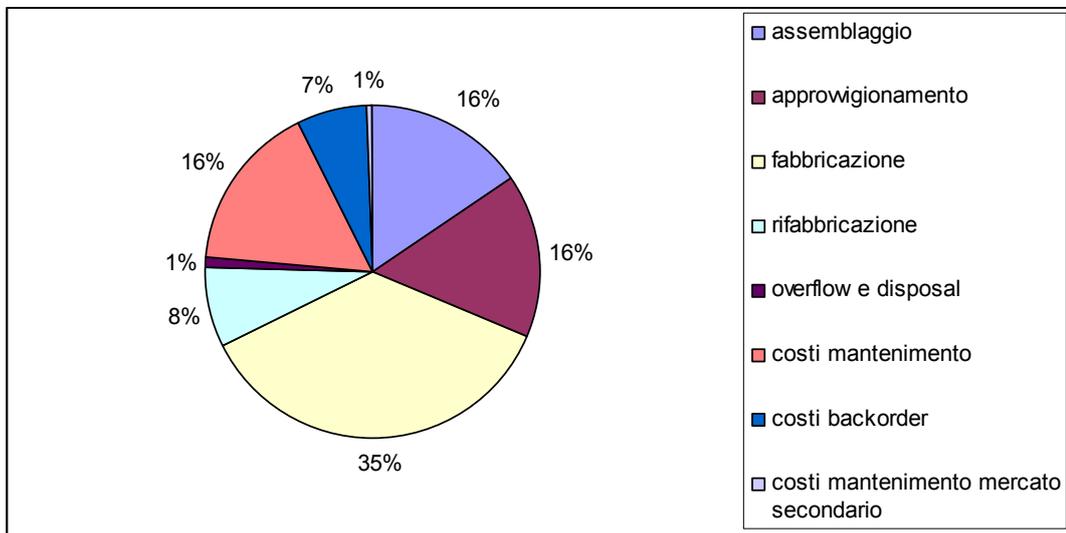


Figura 5-48: Strategia PUSH: costi

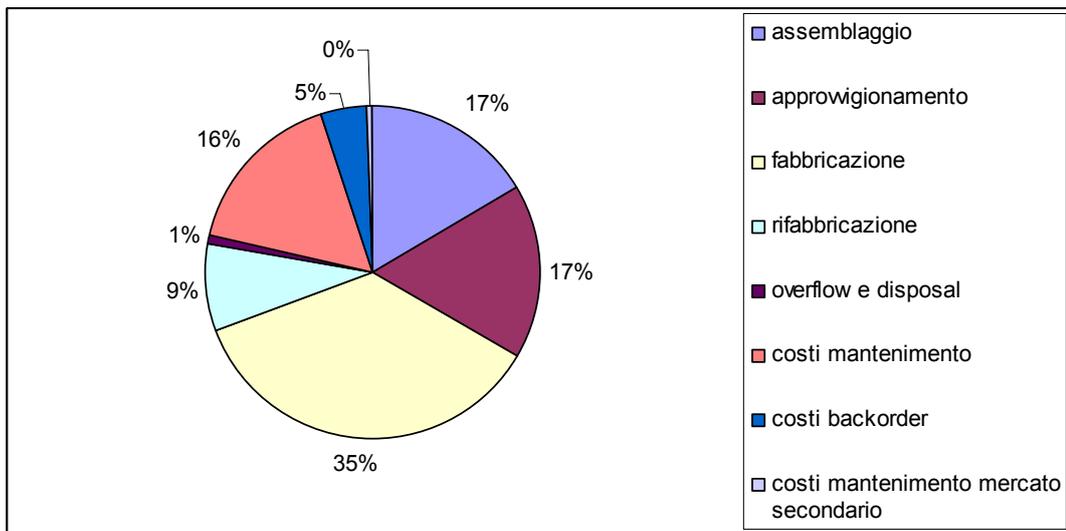


Figura 5-49: Strategia PUSH 1: costi

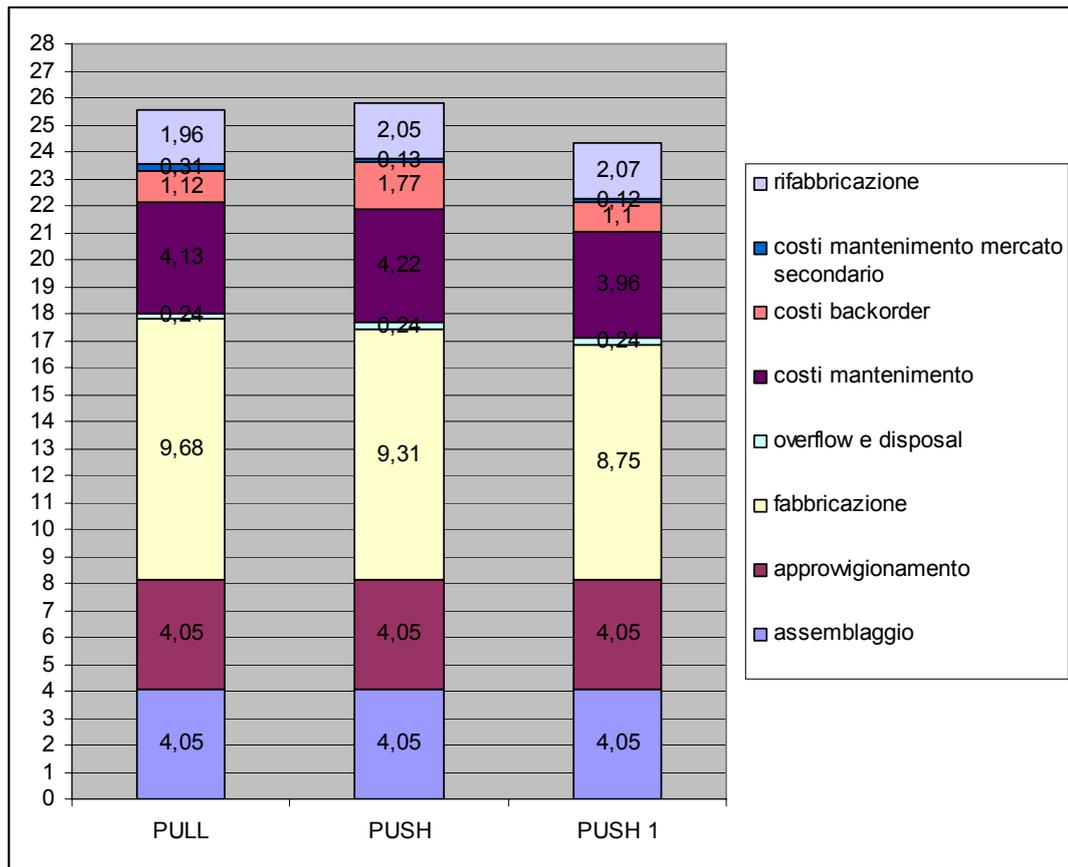


Figura 5-50: Confronto delle tipologie di costo

In conclusione, la strategia PULL analizza la giacenza del magazzino prodotti finiti del mercato primario e decide caso per caso l'utilizzo di un ritorno di qualità elevata. Controllando tale magazzino la strategia PULL ha una visione "globale" del sistema in quanto il comportamento delle stazioni di lavoro e dei buffer a monte è influenzato dallo stato del magazzino prodotti finiti. La strategia PUSH invece è "miope", non guarda lo stato del sistema ma decide a priori l'utilizzo dei core di qualità elevata. La strategia PUSH 2, d'altronde, ha una visione "parziale" del sistema. Decide l'utilizzo di un ritorno di qualità elevata basandosi esclusivamente sulla giacenza del Buffer 2.

Quindi al crescere della qualità delle informazioni utilizzate dalle diverse strategie di controllo migliora la performance del sistema.

Si osservi che, anche se la strategia PULL presenta dei vantaggi da un punto di vista economico, la sua implementazione risulta più difficile da un punto di vista organizzativo in quanto i magazzini non possono essere più controllati

indipendentemente. Quindi in base alla specifica realtà in esame bisogna valutare un trade-off tra vantaggi economici e difficoltà organizzative.

5.7.4 Difficoltà degli OEM nella gestione del mercato secondario

In tutte le analisi precedenti i fattori significativi sono risultati: il tasso di ritorno, la percentuale di prodotti di qualità elevata presenti nei prodotti restituiti e il tasso di utilizzazione media del sistema. L'aspetto critico per molti OEM è quello di riuscire ad intervenire su tali fattori per rendere conveniente o ancora più conveniente la presenza del mercato secondario. Nel prosieguo si riporta lo stato dell'arte sulle pratiche aziendali adottate per intervenire sui suddetti fattori.

Il vantaggio principale nel diminuire il tasso di utilizzazione del sistema è quello di poter fabbricare un numero maggiore di unità in modo da sopperire alla diminuzione dell'output del processo di rifabbricazione in seguito all'utilizzo dei prodotti di qualità elevata per il mercato secondario. In alcuni situazioni però non è conveniente aumentare il numero di prodotti fabbricati. Potrebbe essere, infatti, il caso della "sostituzione verso il basso" (*downward substitution*). Alcune aziende sono disposte ad offrire ai loro clienti di prodotti rifabbricati un prodotto fabbricato ex-novo (e quindi normalmente venduto ad un prezzo più alto) nel caso in cui non ci sia disponibilità di prodotti rifabbricati. Ciò ad esempio accade per la rifabbricazione di alcuni componenti nell'industria automobilistica (Inderfurth, 2004).

Il tasso di ritorno è fortemente legato al sistema di incentivi utilizzato per convincere il cliente a restituire il prodotto usato. Uno dei sistemi più utilizzati è il *trade-in*, ovvero una valutazione dell'usato con conseguente sconto sull'acquisto di un nuovo prodotto. La valutazione dell'usato avviene tipicamente in base al modello, non tiene quindi conto delle condizioni del prodotto restituito. I meccanismi di ritorno dipendono molto dal caso specifico e sono spesso utilizzati non soltanto per fini direttamente collegati alla rifabbricazione, ma anche per attrarre nuovi clienti in generale. Quindi, l'efficienza di tali soluzioni in un contesto di rifabbricazione è poco conosciuta (Michaud, et al., 2006).

Molto spesso l'utilizzo di tali strumenti ha l'obiettivo di trattenere clienti che stanno cercando di cambiare *brand*, eliminare il mercato secondario di una vecchia tecnologia mentre se ne sta introducendo una nuova, o aumentare la frequenza degli acquisiti. Il tasso di ritorno inoltre è ovviamente collegato alla struttura di raccolta ovvero al modo in cui è stata configurata la catena logistica inversa.

Dall'analisi effettuata è risultato che il fattore che meglio riesce ad incrementare il profitto aumentando il numero di vendite nel mercato secondario è la qualità del mix dei ritorni. Infatti, nel caso in cui il mix dei ritorni è caratterizzato da un'alta percentuale di prodotti di qualità elevata, anche in presenza di una quantità limitata di ritorni e di un'alta utilizzazione del sistema l'ipotesi di servire il mercato secondario risulta conveniente.

La condizione del prodotto restituito è un fattore fondamentale per determinare la modalità del riutilizzo del prodotto. Tale condizione è però difficilmente prevedibile in quanto strettamente legata alle modalità e alle condizioni operative di utilizzo. Quindi risulta difficile riuscire ad ottenere ritorni caratterizzati da un'alta percentuale di prodotti di qualità elevata.

Per migliorare la qualità "media" dei ritorni è possibile utilizzare contratti di manutenzione (tale opzione è economicamente fattibile solo per prodotti caratterizzati da costi elevati come ad esempio macchinari industriali) e realizzare il prodotto secondo i principi della progettazione robusta. In particolare, la fase di progettazione è fondamentale per raggiungere tale obiettivo. È necessario riuscire a creare un prodotto che sia poco sensibile alle condizioni operative e alle modalità di utilizzo in modo da ridurre la variabilità delle condizioni dei prodotti restituiti e ad ottenere una qualità media dei prodotti restituiti più elevata. Altri strumenti, invece, cercano di mettere il cliente nelle condizioni di utilizzare il prodotto correttamente. Politiche di buy-back con ricavi condivisi dovrebbero stimolare i clienti a restituire prodotti con un valore residuo molto alto e quindi di alto livello qualitativo.

Attualmente, gli OEM non sempre riescono ad ottenere un flusso di ritorno caratterizzato da una percentuale significativa di prodotti per i quali è

possibile la vendita “as-is”.

La situazione è differente per terze parti indipendenti che si occupano di rifabbricazione. Per tali aziende la disponibilità di ritorni è elevata e la qualità dei ritorni è controllabile tramite il prezzo di acquisto. Queste “terze parti” si occupano della rifabbricazione di più modelli di diversi OEM (per alcuni prodotti, ad esempio i cellulari, gli OEM non sono attualmente impegnati nella rifabbricazione) e acquistano solo i prodotti restituiti qualitativamente migliori dei diversi produttori (Daniel, et al., 2003).

Un’ulteriore difficoltà che in alcuni casi incontrano gli OEM è quella di riuscire a vendere prodotti rifabbricati e nuovi allo stesso prezzo. Tale problema è collegato al comportamento d’acquisto dei consumatori. Attualmente tra i consumatori c’è la tendenza a credere che i prodotti rifabbricati siano qualitativamente inferiori dei nuovi prodotti. È quindi fondamentale sviluppare strumenti per informare i consumatori sulle caratteristiche dei prodotti rifabbricati come ad esempio etichette e certificazioni. Un metodo molto efficace per attestare l’equivalenza qualitativa di prodotti nuovi e rifabbricati è l’utilizzo di una stessa garanzia sulle due tipologie di prodotti. Un’ulteriore strategia per migliorare la percezione circa i prodotti rifabbricati è quella di sottolinearne l’impatto ambientale.

Per gestire e controllare al meglio i prodotti rifabbricati e il mercato secondario in modo da evitare una perdita d’immagine dovuta ad una scarsa qualità dei prodotti rifabbricati o venduti as-is da terze parti, alcuni OEM stanno modificando il loro business: non si vende più un prodotto ma si vende un servizio. Utilizzando ad esempio contratti di leasing è possibile offrire ai clienti l’utilizzo del prodotto per un determinato periodo di tempo al termine del quale il prodotto viene sostituito. Il prodotto restituito, può essere rimesso a nuovo, rifabbricato o venduto così com’è. Il cliente, acquistando un servizio (con determinate garanzie) e non essendo quindi proprietario del prodotto utilizzato, non è interessato al fatto che il prodotto sia rifabbricato o meno. L’OEM, invece, riesce ad avere un maggiore controllo sul processo di ritorno dei prodotti e sul mercato secondario dei propri prodotti. Tale modello di business è molto

utilizzato nel settore delle apparecchiature elettriche ed elettroniche ed ultimamente, si sta diffondendo in settori molto diversi (Mont, et al., 2006).

5.8 Conclusioni

L'evoluzione dei mercati, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo, pressioni legislative, attese dei clienti e i profitti ottenuti da terze parti impegnate nel recupero dei prodotti, stanno spingendo gli OEM verso un ruolo più attivo nella gestione dei prodotti a fine vita.

L'alto valore residuo dei ritorni, soprattutto per certe tipologie di prodotti, pone, molto spesso, i produttori di fronte alla necessità di dover valutare l'opportunità di servire mercati secondari. Obiettivo di questo studio è stato quello di assistere un OEM in questa valutazione di tipo strategico. In particolare è stato dimostrato che per un OEM può risultare conveniente utilizzare parte dei ritorni di alto valore residuo per servire il mercato secondario.

Il numero di unità utilizzate per servire tale mercato tende ad aumentare al crescere del tasso dei ritorni, e del miglioramento del livello qualitativo del mix dei ritorni, e al diminuire del tasso di utilizzazione media del sistema. Questi fattori, ovviamente, sono le leve su cui l'OEM può agire per ottenere un incremento di profitto servendo il mercato secondario. Altri due importanti fattori che influenzano la redditività di tale mercato sono i prezzi di vendita sui due distinti mercati. È stato mostrato, in particolare, che il profitto è molto più sensibile a variazioni di prezzo nel mercato primario, e che i volumi di vendita su quello secondario risentono di più del prezzo di vendita su tale mercato.

L'opportunità di gestire un mercato secondario, poi, pone l'OEM di fronte a decisioni di tipo tattico sulla particolare politica da adottare per la gestione combinata dei due mercati. È stato dimostrato, dal confronto di diverse politiche, che la strategia migliore è quella che riesce a coordinare nel migliore dei modi le vendite nei due mercati e le attività di produzione ex novo/rifabbricazione, sfruttando il maggior numero possibile di informazioni disponibili sui livelli di giacenza di core, parti e componenti, prodotti finiti.

6

PROGETTARE PER LA RIFABBRICAZIONE

Le imprese che affrontano la tematica del recupero nella fase di sviluppo di un nuovo prodotto, abbandonano la logica tradizionale basata su valutazioni alla fine del ciclo di vita tese alla verifica della fattibilità del recupero stesso ed alla individuazione della strategia più appropriata. In questo caso la strategia di recupero viene definita a priori e valutata su un orizzonte temporale più ampio, in modo da combinarsi col vantaggio competitivo dell'impresa. Affrontare la questione della rifabbricazione di un prodotto in fase progettuale permette di cimentarsi con tale sfida, nello stadio in cui esistono meno vincoli e allo stesso tempo le migliori opportunità per semplificare un trattamento, che è particolarmente complesso e caratterizzato da problematiche peculiari.

Obiettivo di questo capitolo è quello di presentare lo stato dell'arte sul *Design for Remanufacturing*, e di inquadrare tale tipologia di progettazione nell'ambito di una più generale strategia aziendale, nell'ottica di un business sostenibile della rifabbricazione. Viene proposto, poi, come attività propedeutica a qualsiasi programma di rifabbricazione, un modello logico per la valutazione di rifabbricabilità di un generico prodotto che tenga conto degli aspetti logistici, della domanda e della tecnologia del processo di recupero.

6.1 Strategie di progettazione per la rifabbricazione

Coloro che approcciano alla tematica secondo una visione strutturale sostengono che il modo migliore per semplificare la rifabbricazione di un prodotto è di concepirlo già in partenza per il trattamento. “*Il modo più efficace per favorire la rifabbricazione è seguire un approccio integrato alla progettazione di processo e di prodotto*” (Amezquita, et al., 1996). Lo sviluppo del business, quindi, passa attraverso una progettazione già orientata ai trattamenti da attuare alla fine del ciclo d’uso. La finalità è di prevenire le inefficienze cui si potrebbe andare incontro lungo il processo con interventi concepiti all’origine, prima della messa in produzione.

A livello di processo produttivo si possono registrare economie di scala e sviluppo di abilità nel gestire una gran varietà di prodotti, andando ad eliminare le attività non a valore aggiunto grazie ai feedback di un sistema produttivo integrato. Di qui, una progettazione sensibile da un punto di vista ambientale ed in particolare finalizzata alla rifabbricazione del prodotto: letteralmente «*Design for Remanufacturing*». Bisogna puntualizzare che questa rimane, comunque, una delle diverse opzioni praticabili al termine del ciclo di vita. Un prodotto potrebbe essere concepito, anziché per la rifabbricazione, per un diretto riuso, ma anche per il semplice riciclo del materiale ecc.. L’approccio è valido per tutte le opzioni di recupero e smaltimento, mentre la scelta dipende da questioni di convenienza.

Lo sviluppo del prodotto in senso stretto prende il via con la definizione del concept, un’illustrazione approssimata di quella che è ancora un’idea in termini di principi di funzionamento, forma e tecnologia (Stampacchia, et al., 2005). Tra più concetti che prendono forma dal miglioramento di aspetti diversi di una stessa idea, si sceglie di far passare alla fase progettuale quella considerata più attrattiva⁴⁰. Seguirà la fase di progettazione complessiva, per la definizione dell’architettura del prodotto, e dettagliata, per arrivare all’armonizzazione dei componenti e per tradurre le aspettative dei consumatori in termini tecnologici, funzionali o di mercato. Il ciclo di sviluppo si chiude nella fase di

⁴⁰ Lo sviluppo di più *concept* comporta un aggravio di costi nelle fasi successive. Non risulta conveniente perciò portare avanti progetti che successivamente dovrebbero essere abbandonati (Thomke, et al., 1998).

sperimentazione che valida la soluzione in vista della produzione in serie (Figura 6-1).

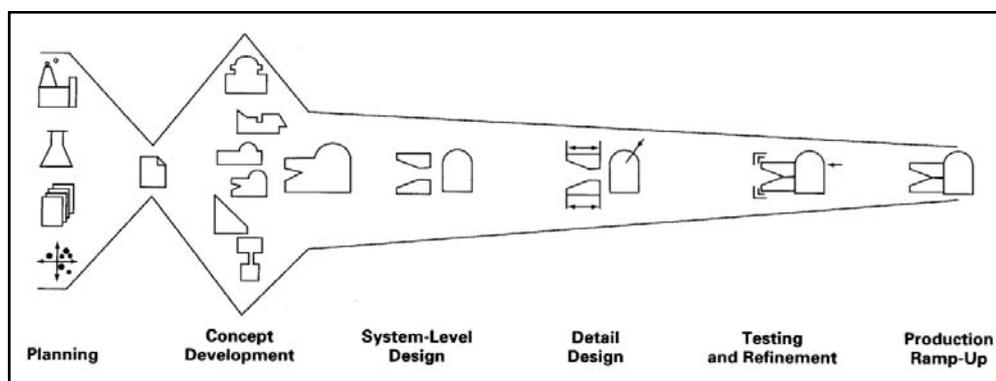


Figura 6-1: Processo di sviluppo di un prodotto in senso stretto (Ulrich, et al., 2000)

Bisogna essere consapevoli che il modello illustrato deve essere considerato all'interno del sistema del valore di un prodotto rifabbricato, di modo da integrarsi in una visione circolare della gestione del prodotto che coinvolga tutti gli attori del sistema (Figura 6-2). Una visione sistemica di tale ciclo si accorda con lo sviluppo preventivo di una strategia di rifabbricazione. Ciò comporterà che la scelta di procedere alla rifabbricazione dei *core* a fine vita vada fatta, quindi, nella fase di sviluppo e progettazione, in modo da eliminare o almeno ridurre i vincoli che in seguito potrebbero presentarsi (Sundin, 2004).

Se il bene diventa il mezzo attraverso il quale si può gestire la fornitura di un servizio al consumatore, l'impresa potrà ottenere il massimo beneficio se conserva la responsabilità sul prodotto durante il suo ciclo di vita, di modo da avere il pieno controllo delle leve di creazione del valore durante il consumo. Sarà, poi, possibile rientrarne in possesso facilmente, quando il consumatore vorrà disfarsene (Nasr, et al., 2006). Viceversa, se si seguono mere prescrizioni ambientali, i risultati vengono fortemente ridimensionati, in quanto si potrebbe finire per sostenere costi a beneficio di altri. Di qui, quindi, l'interazione imprescindibile di tematiche di carattere tecnico progettuale con la strategia e la politica dell'impresa.

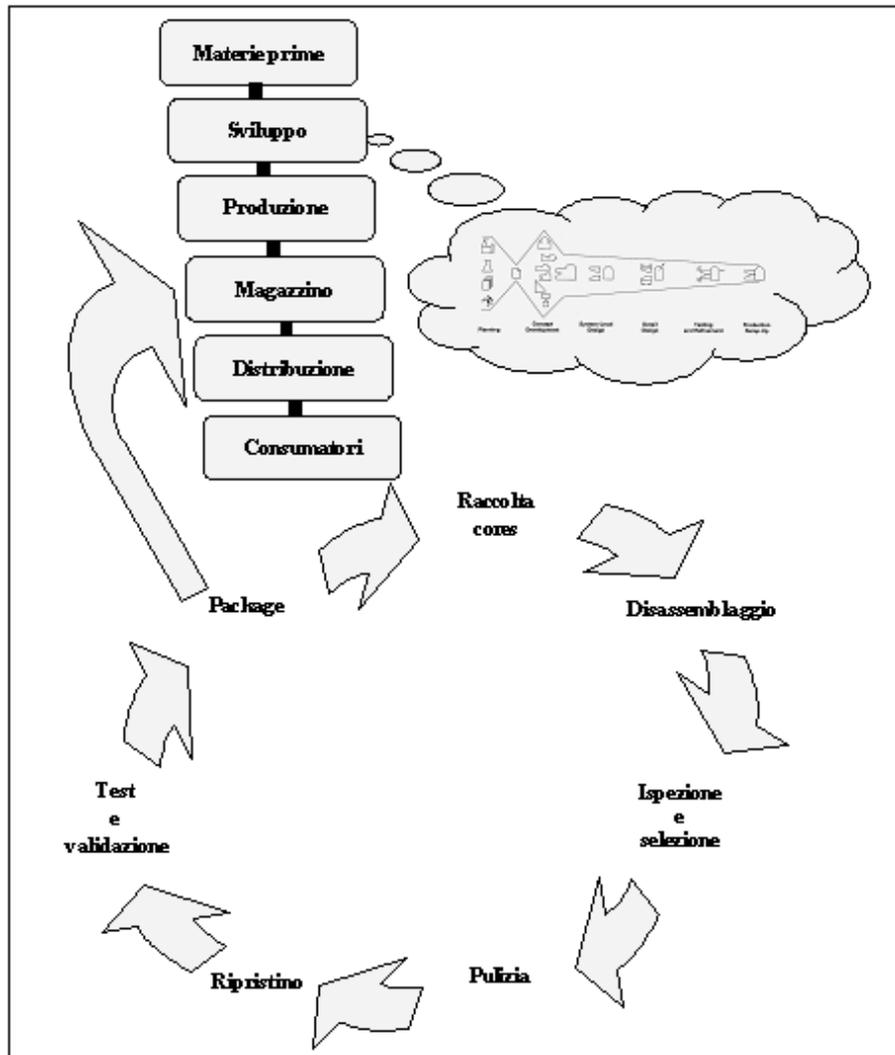


Figura 6-2: Supply Chain integrata (Fonte: adattamento da www.reman.org).

Perseguire una strategia orientata alla rifabbricazione, non deve però portare a trascurare altre opzioni di recupero a fine vita. Un'impresa che si prefigge di rifabbricare i propri prodotti, non può pensare di riuscire a trattare uniformemente tutti i core che hanno esaurito il primo ciclo di vita, per via delle diverse condizioni in cui questi ritornano. Quando tali condizioni non permettono la rifabbricazione, si procederà con opzioni residuali. In particolare si fa riferimento al riciclo dei materiali ed alla conseguente necessità di congegnare la progettazione tenendo presente anche quest'aspetto. Il *Design For Recycling* (DFR) suggerisce di fare scelte ponderate per quanto riguarda i materiali da utilizzare in modo da rendere i processi di separazione e recupero dei materiali stessi efficienti. Alcuni obiettivi generali di un DFR sono:

- aumento della vita del prodotto e minimizzazione delle materie prime utilizzate;
- facilità nella separazione dei differenti materiali;
- utilizzo di pochi materiali differenti nello stesso prodotto mantenendo una compatibilità con la struttura del sistema di produzione esistente;
- pochi componenti di un dato materiale nel sistema progettato;
- consapevolezza del bilancio del ciclo di vita e dei costi di riprocessamento;
- aumento del numero di parti e sottosistemi che possono essere facilmente smontate e riusate senza riprocessamento;
- adozione di materiali utilizzabili per un gran numero di prodotti;
- riduzione delle «operazioni secondarie» con conseguente riduzione degli scarti e semplificazione del processo di recupero.

Da quanto detto, emerge che una strategia di rifabbricazione si articola su tre livelli cui corrispondono altrettanti trattamenti, i quali andranno implementati secondo le condizioni del *core*:

- rifabbricazione dei prodotti;
- cannibalizzazione dei componenti;
- riciclo dei materiali.

Solo i core che rispettano degli standard prefissati vengono recuperati integralmente, mentre per gli altri il recupero è incentrato su singole parti o sul semplice recupero della materia prima. Come si evince dalla Figura 6-3, l'obiettivo, quindi, è di chiudere il ciclo del prodotto prima che questi diventi rifiuto. Nello stesso tempo, però, per massimizzare il risultato finale, si tralasciano opzioni come il riuso diretto del bene ed opzioni «di compromesso» come riparazione o ripristino. Ciò poiché si rivelano poco attraenti secondo il modello di business delineato.

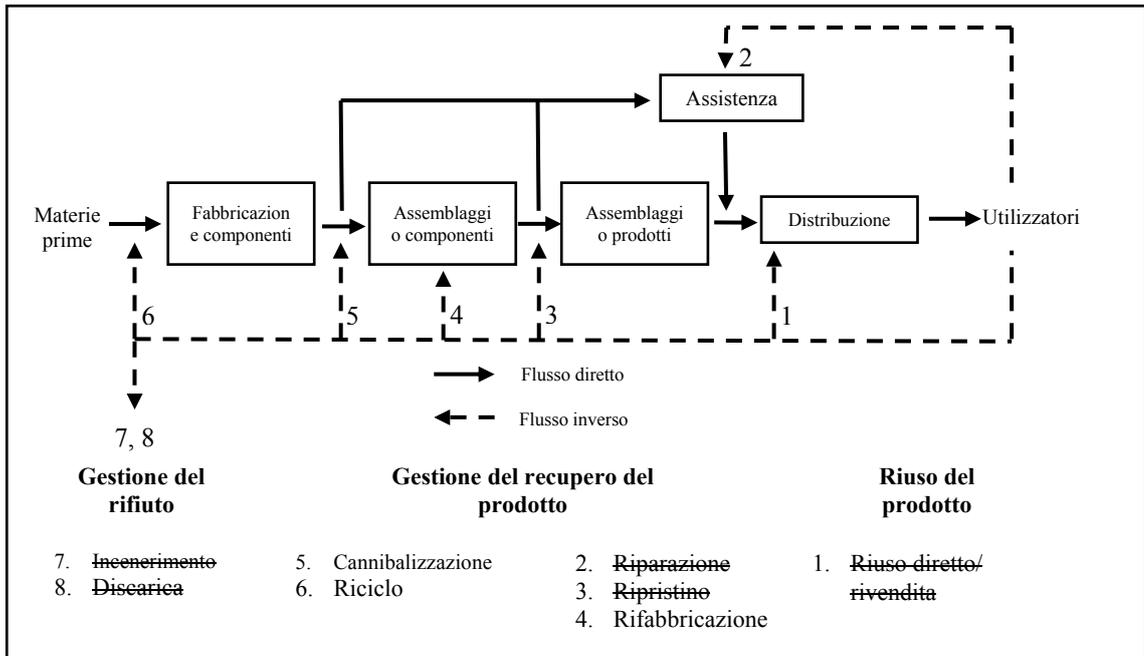


Figura 6-3: Mix di strategie per la rifabbricazione (Thierry, et al., 1995).

6.2 Design for Remanufacturing

La rifabbricazione inizia dal core. Tutti i core vengono progettati prima di essere prodotti. Aspetti come la forma, il materiale, i collegamenti tra i componenti/moduli possono influenzare il modo in cui questi affrontano il processo. La progettazione finalizzata alla rifabbricazione gioca un ruolo chiave nello sviluppo di questo business e l'evidenza empirica sostiene questa tesi⁴¹. Il legame tra progettazione e rifabbricazione quale variabile di profitto, però, in molti casi non è compreso oppure più verosimilmente i due concetti viaggiano su binari separati, poiché gli OEM non hanno interesse per un nuovo business sui propri prodotti.

Le imprese che hanno accesso alle specifiche progettuali degli OEM sono poche, soprattutto in Europa, mentre tutte le altre devono per forza ricorrere a pratiche di *reverse engineering* se vogliono comprenderne la struttura tecnologica di un manufatto (Gray, et al., 2007; Guide, et al., 1999; Nasr, et al., 1998). La variabile progettuale è sotto il diretto controllo degli OEM, i quali possono usarla a proprio piacimento. Da un altro punto di vista è interessante

⁴¹ Il legame tra *DfRem* e profittabilità è anche analizzato e verificato per singole categorie di prodotto. Ad esempio nel caso delle fotocopiatrici (Kerr, 1999).

notare che si potrebbe agire anche per bloccare sul nascere iniziative di riutilizzo. Ciò viene fatto dagli OEM per prevenire iniziative sui propri prodotti per mano delle terze parti⁴².

La rifabbricabilità di un prodotto risente delle sue caratteristiche fisiche, che a loro volta sono state determinate in fase di progettazione. Il *Design for Remanufacturing* facilita il trattamento. Può essere inteso come una metodologia a due livelli (Figura 6-4):

- configurazione del modello di business e strategia di prodotto, che si occupa di aspetti come vendita, marketing, assistenza post-vendita e logistica inversa;
- progettazione ed ingegnerizzazione del prodotto in senso stretto.

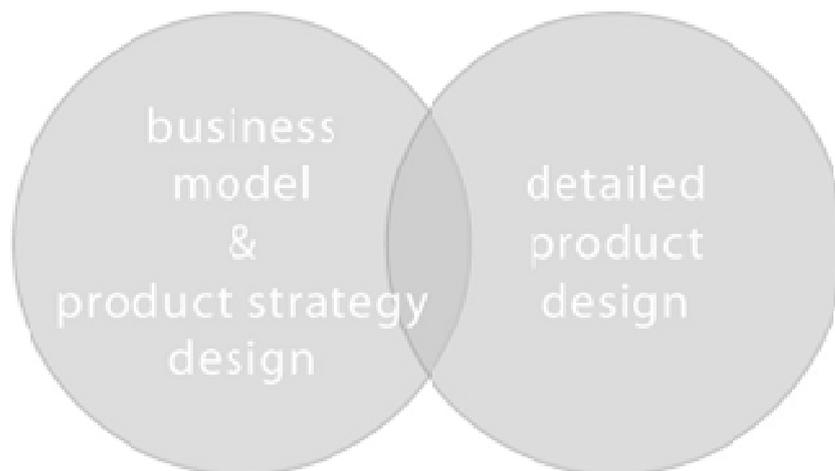


Figura 6-4: I due livelli interrelati del DfRem (Gray, et al., 2007).

Progettare per rifabbricare significa ottimizzare il processo, prefigurando le condizioni per l'avvio di un business, di modo da arrivare ad un sistema del valore chiuso composto da una domanda sensibile alla proposta di valore, un sistema di raccolta dei core, prodotti adatti al trattamento, risorse e competenze disponibili adeguate al modello. A questo livello entrano in gioco aspetti come la

⁴² Un esempio di questa politica di progettazione può essere l'assemblaggio attraverso saldatura ultrasonica, che rende impossibile precedere a successive operazioni di disassemblaggio a meno di non determinare gravi danni al prodotto.

struttura dei costi, l'intensità della concorrenza, l'immagine, la politica aziendale ecc., per valutare fattibilità e potenzialità reddituali (William, et al., 2001).

Tendenzialmente quando si parla di *DfRem*, ci si focalizza sulla progettazione in senso stretto, reputando di secondo piano la strutturazione del modello di business e la strategia che riguarda il prodotto. Di fatto la suddivisione su due livelli rientra in un approccio sistemico e *market oriented*, il quale considera che i profitti dell'impresa passino per:

- l'integrazione del consumatore nel processo di consumo;
- la minimizzazione dei costi di gestione durante il consumo;
- la massimizzazione del valore del prodotto alla fine del ciclo di vita.

Uno studio americano sulla progettazione di dettagliato (Hammond, et al., 1998) ha identificato quattro ambiti d'intervento quando si sviluppa un prodotto da rifabbricare:

- la sua complessità;
- metodi di accoppiamento;
- gli strumenti di assemblaggio e disassemblaggio;
- la crescente fragilità dei componenti.

Tabella 6-1: Design for X nelle fasi di un processo di rifabbricazione (Gray, et al., 2007).

DESIGN STRATEGY	PROCESSO DI RIFABBRICAZIONE						
	Raccolta Core	Ispezione	Disassemblaggio	Pulizia	Ripristino	Assemblaggio	Collaudo
Design for Core Collection	✓	✓					
Design for Disassembly		✓	✓	✓	✓	✓	
Design for Multiple Lifecycles				✓	✓		
Design for Upgrade					✓		
Design for Evaluation		✓					✓

Il *DfRem* in senso stretto corrisponde ad un insieme di metodi di progettazione finalizzato a semplificare l'attività di rifabbricazione di un prodotto, implementando alcuni parametri chiave in tal senso. Va ad articolarsi in

una serie di sottometodologie che possono anche avere obiettivi divergenti secondo i casi. Queste tecniche, denominate genericamente *DfX*, insistono su diverse attività dell'intero processo di rifabbricazione, come illustrato nella Tabella 6-1.

Nella Tabella 6-2 sono elencati dei tipici problemi progettuali che vanno affrontati nelle varie fasi. Un approccio che intervenga nel processo di sviluppo di un manufatto seguendo lo schema logico della tabella semplifica il recupero, migliorando la rifabbricabilità.

Tabella 6-2: Progettazione del prodotto per semplificare le singole fasi di un processo di rifabbricazione (Shu, et al., 1999).

PROCESSO	DRIVER PER LA PROGETTAZIONE	MOTIVAZIONI
Raccolta	Eliminare sporgenze nella geometria del prodotto	Minimizzare i possibili danneggiamenti in transitò Semplificare l'immagazzinamento
Disassemblaggio	Ridurre varietà e quantità delle chiusure Usare chiusure standard	Ridurre gli strumenti da utilizzare Ridurre i tempi dell'operazione
Smistamento	Usare parti identiche o simili	Ridurre le risorse necessarie per separare le parti
Pulizia	Evitare forme che tendano a trattenere lo sporco come scanalature e incavi Usare materiali, forme e colori appropriati	Migliorare l'accesso per strumenti e fluidi di pulizia Ridurre esposizione allo sporco e possibili danneggiamenti durante questa fase
Ispezione	Indicare accuratamente ed esplicitamente la vita utile residua dei componenti	Ridurre gli sforzi volti a verificare la riusabilità del componente
Ripristino	Progettare componenti che non si rompano mai; oppure concentrare difetti e usura in parti rimovibili o sostituibili.	Ridurre la necessità di dover ricorrere a procedimenti ad alta intensità del lavoro o del capitale per il ripristino.

6.2.1 Design for core collection

Il ritorno dei *core* è influenzato sia dal modo in cui è stato configurato il modello di business dell'impresa, sia dalla progettazione a livello dettagliato dei prodotti. Un passo fondamentale per la raccolta riguarda la configurazione del sistema di logistica inversa. Il problema fondamentale è il coordinamento con la normale distribuzione diretta, quando l'impresa pratica entrambe le attività. La soluzione ottimale è la configurazione di un sistema integrato che faccia leva sugli stessi nodi sia per il collocamento dei prodotti, sia per la raccolta dei *core*. Le difficoltà nella sua gestione, però, in passato hanno fatto propendere le imprese

prevalentemente per network indipendenti (Ginter, et al., 1978). Lo sviluppo dell'*information technology*, comunque, sta semplificando sensibilmente quest'aspetto.

Il modo in cui l'impresa si pone all'interno del network e le relazioni con i partner incidono sulla possibilità di recuperare i prodotti a fine vita. La politica di Xerox, ad esempio, prevede di riprendere indietro tutti i prodotti venduti o concessi in leasing, relazionandosi direttamente col cliente. Nel caso delle fotocamere Kodak, invece, ci si affida ad una rete di logistica inversa che passa per rivenditori e centri di raccolta creati in partnership con imprese concorrenti, di modo da evitare che ogni impresa debba creare rapporti *one to one* con i propri clienti.

Nella distribuzione diretta la velocità con cui il prodotto giunge nelle mani dell'utente finale, è un parametro distintivo e strategico. Ogni azienda cerca di soddisfare nel più breve tempo possibile i bisogni manifestati dai propri clienti, quindi i tempi di attraversamento della catena, dal produttore al consumatore, devono essere ridotti al minimo. Per quanto riguarda l'attività di raccolta dei ritorni, invece, la velocità non sempre è un parametro ritenuto strategico. Le valutazioni variano in funzione della tipologia di prodotto. La velocità di ritorno dipende dalla configurazione del processo di recupero e dagli attori coinvolti. Per alcuni prodotti destinati al ri-uso il ritorno nel mercato deve essere tempestivo per evitare che diventi obsoleto (Ginter, et al., 1978).

In un sistema del valore chiuso esistono differenti fonti potenziali di *core* da impiegare in un processo di rifabbricazione o cannibalizzare per ricavarne componenti (Krikke, et al., 2004):

- ritorni a fine vita;
- ritorno a fine uso;
- ritorni commerciali e da canali secondari
- componenti riutilizzabili.

I ritorni a fine vita vengono ripresi in consegna sul mercato per evitare danni ambientali o commerciali. In molti casi esiste un obbligo normativo al

riguardo. Nella maggior parte dei casi si tratta di rifiuti elettronici, veicoli, imballaggi o pneumatici; tutti prodotti che normalmente finiscono in discarica o vengono riciclati.

I ritorni a fine uso sono prodotti o componenti per cui, ad esempio è terminato il leasing o vengono rimpiazzati periodicamente. La loro destinazione in genere è il mercato secondario o la rifabbricazione.

I ritorni commerciali sono collegati al processo di vendita. I prodotti vengono restituiti dal consumatore poco tempo dopo l'acquisto per difetti riscontrati o a seguito di richiami della casa madre. La restituzione può avvenire anche direttamente da parte del distributore, nel caso di prodotti da scaffale, «fine serie» o «fine stagione» invenduti⁴³.

I componenti riutilizzabili, come cartucce di stampanti, bottiglie o contenitori vari, sono collegati all'uso ed alla distribuzione di un prodotto principale, poiché necessari al suo funzionamento. La caratteristica comune a queste parti è che queste non sono parte integrante del prodotto, ma contengono un materiale o un bene.

Possibili fonti di *core* possono essere anche prodotti che non sono mai entrati nel circuito commerciale, come nei casi di sovrapproduzione, di danneggiamenti durante il trasporto o di item difettosi o di bassa qualità che non rispettano i parametri fissati dagli OEM⁴⁴. In Tabella 6-3 sono sintetizzate le potenziali fonti di *core* per un processo di rifabbricazione o cannibalizzazione dei componenti, suddivise secondo che i ritorni siano costituiti da prodotti che sono stati o no collocati sul mercato del nuovo.

⁴³ Il flusso dei ritorni commerciali che transita per la logistica inversa è mediamente stimato nel 6% circa (Tibben-Lembke, 2004).

⁴⁴ I prodotti che rientrano in quest'ultima categoria vengono designati con l'espressione «*seed stock*» (Guide, 2000).

Tabella 6-3: Fonti di core per la rifabbricazione o cannibalizzazione dei componenti (Tibben-Lembke, et al., 2002).

RITORNI DA PRODOTTI NUOVI	RITORNI DA PRODOTTI CHE NON POSSONO ESSERE VENDUTI COME NUOVI
Sovraproduzione/ordini cancellati	Seconda scelta/qualità irregolare
Prodotti da scaffale	Richiami
Ritorni dal marketing	Restituzioni da parte del cliente
Stock per il bilanciamento	Usato
Cambiamenti di packaging	Seconda mano
Liquidazioni a fine serie	Danneggiamento durante il trasporto
Liquidazioni a fine stagione	

Fare *DfCC* in senso stretto, invece, significa concepire i prodotti, intervenendo su aspetti come forma, packaging ed elementi di comunicazione grafica che permettano di semplificare il ritorno, ma anche l'ispezione del prodotto. Durante la progettazione a livello dettagliato si può lavorare sugli elementi visivi per semplificare i processi a fine ciclo. Un esempio in questo senso può essere l'apposizione di etichette sull'imballaggio, sul prodotto esterno e sui suoi componenti per facilitarne il riconoscimento. A questo proposito il posizionamento dell'etichetta dipenderà dal tipo di visore che verrà utilizzato per le analisi sui ritorni, come possono osservarli e come useranno le informazioni.

La forma del prodotto influenza l'usura durante l'uso e l'efficienza del processo di raccolta, poiché potrebbe essere causa di possibili danneggiamenti durante il trasporto oppure ostacolare lo stoccaggio. Uno degli obiettivi progettuali da tenere come riferimento è l'eliminazione di quelle sporgenze nella geometria del prodotto che potrebbero influenzare negativamente le variabili sopra citate, permettendo di semplificare le operazioni di raccolta, risparmiare sui costi, migliorare il livello qualitativo dei ritorni, incrementare il tasso di ritorno.

6.2.2 Design for disassembly

Con l'espressione «*Design for Disassembly*» s'intende "un processo di progettazione del prodotto, affinché questo possa essere scomposto senza difficoltà in parti simili destinate a riciclo, riuso o ripristino" (Allada, 2000).

Ottenere miglioramenti in questo stadio permette di incrementare il tasso di recupero rendendo più agevole separazione e selezione di parti e materiali. Molti dei prodotti realizzati dalle imprese non sono progettati per essere facilmente smontati, anzi sovente avviene l'opposto. Vengono progettati proprio, affinché tale operazione non possa essere realizzata, per bloccare sul nascere le possibilità di recupero.

Aspetti come la struttura del prodotto, i metodi di accoppiamento, i materiali utilizzati non vengono, quindi, scelti secondo obiettivi di recupero. La struttura dei prodotti viene determinata sulla base di esigenze attinenti caratteristiche funzionali e di assemblaggio. I metodi di accoppiamento vengono approntati secondo criteri di sicurezza, semplicità e durevolezza. In molti casi le parti accoppiate non potranno più essere separate. I materiali vengono scelti per economicità e performance del prodotto nel breve periodo, di solito si ottengono dal miscuglio di tante sostanze diverse. La loro successiva selezione o il semplice riciclo potrebbe essere quasi impossibile. Il risultato è che il disassemblaggio, quando praticabile, deve essere condotto in modo prevalentemente manuale a causa dell'impossibilità nello standardizzare le operazioni. Non a caso tale attività viene fatta rientra tra quelle «*labor intensive*».

Il disassemblaggio è un'attività funzionale alla rifabbricazione, al riciclo, alla manutenzione ed all'assemblaggio (Subramani, et al., 1991; Noller, 1992; Zussman, et al., 1994). L'obiettivo del *DfD* è, quindi, quello di porre rimedio alle criticità sopra citate semplificando le operazioni ed evitando danneggiamenti. Per certi versi riciclo e manutenzione condividono delle operazioni di disassemblaggio con la rifabbricazione. C'è da tener presente però, che alcuni accoppiamenti non vengono toccati nelle normali operazioni manutentive, ma devono esserlo per forza nel caso della rifabbricazione. Senza contare il fattore tempo che nel caso della manutenzione è sicuramente più critico. Inoltre, se nel riciclo il danneggiamento dei componenti è un aspetto secondario, per la rifabbricazione può pregiudicare l'economicità del procedimento. Queste considerazioni permettono di affermare che si può semplificare il disassemblaggio in un'ottica di rifabbricazione del prodotto, progettando

strutture a bassa complessità, riducendo il numero dei componenti, impiegando materiali comuni e scegliendo dei metodi di accoppiamento facilmente rimovibili.

Il disassemblaggio può essere parziale o totale. Sebbene l'operazione possa sembrare come un assemblaggio condotto al contrario, in realtà si tratta di qualcosa di completamente differente.⁴⁵ La conoscenza del piano di assemblaggio può svolgere, quindi, al massimo una funzione di supporto, quando si va a smontare un prodotto. È necessario, invece, sviluppare piani appositi per l'intervento. Le ricerche in materia si concentrano su due filoni:

- livello di disaggregazione;
- piano del processo.

Nel caso del livello di disaggregazione ci si pone il problema di quale sia il modello ottimale di scomposizione del prodotto. Si deve scegliere quali sono per un prodotto le unità elementari che saranno oggetto di trattamento nelle fasi successive del processo. Un'analisi superficiale potrebbe far propendere per il massimo livello di disaggregazione di modo da ridurre il prodotto nelle parti meno complesse, ma, tenendo presente le risorse necessarie per separare le parti, i risvolti ambientali e sulle fasi successive, si comprende che la risposta è funzione di un'analisi costi-benefici da condurre su ogni prodotto.⁴⁶

Il piano del processo di disassemblaggio (*PPD*) “*corrisponde ad una sequenza d'attività che iniziano quando il prodotto sta per essere smontato e terminano ad uno stadio in cui tutte le parti d'interesse sono state disassemblate*”(Gungor, et al., 1999). L'obiettivo del piano è di massimizzare il rapporto costi-benefici dell'operazione e la sua complessità aumenta al crescere dei componenti del prodotto (la complessità dipende, quindi, anche dal livello di disaggregazione prescelto). Quest'aspetto può essere risolto solo attraverso l'applicazione di algoritmi che si sviluppano a partire dal livello, dall'analisi

⁴⁵ Alcune operazioni (es. saldatura, rivettatura, incollatura, ecc.) non possono essere facilmente eseguite al contrario. L'operazione di disassemblaggio, inoltre, comprende l'identificazione e la demolizione immediata delle parti che non sono apparentemente revisionabili (es. alloggiamenti rotti, bobine bruciate ecc.) e la separazione di tutte le componenti che non sono riutilizzabili (es. guarnizioni, rivetti ecc.).

⁴⁶ In letteratura sono stati sviluppati diversi modelli sull'argomento (De Ron, et al., 1995).

costi-benefici e dai vincoli strutturali di prodotto e componenti (Yokota, et al., 1992).

Da un sondaggio condotto nel settore dell'automotive (Hammond et al., 1998), emerge che i problemi principali con i quali gli operatori devono fare i conti, quando devono disassemblare un prodotto, sono ruggine e corrosione, che pregiudicano la durevolezza delle parti, in particolare quelle elettriche, e il loro riutilizzo per danneggiamenti durante l'operazione (Figura 6-5).

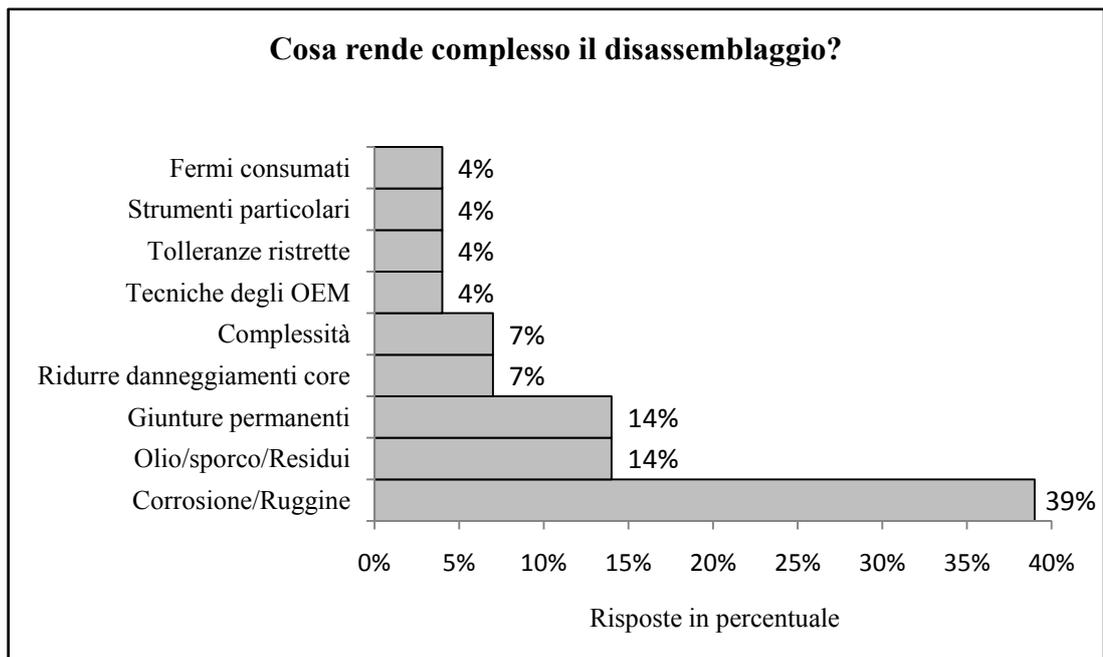


Figura 6-5: Principali difficoltà in fase di disassemblaggio (Hammond, et al., 1998).

Una progettazione funzionale al disassemblaggio passa attraverso delle regole di base (Hundal, 2000):

- usare delle giunture semplici da separare;
- concepire il prodotto in una logica di sub-assemblati;
- utilizzare delle giunture con una vita utile pari almeno a quella del prodotto.

Stando ai dati in figura, però, a livello progettuale, si deve innanzitutto garantire la resistenza dei componenti nel tempo, per prevenire l'aggressione dei componenti da parte degli agenti atmosferici.

Il processo di disassemblaggio è legato a quello di riassettaggio. Il prodotto, infatti, dopo essere stato smontato e trattato, andrà ricomposto per finire sul mercato. Dalla Figura 6-6 emerge che per l'attività di ricomposizione s'incontrano delle difficoltà che gli addetti ai lavori identificano nelle basse competenze possedute da chi realizza l'operazione, nella complessità della progettazione e nella diversità dei prodotti. Anche in questo caso è fondamentale l'elaborazione di metodologie specifiche che permettano di andare verso una standardizzazione per quanto possibile.

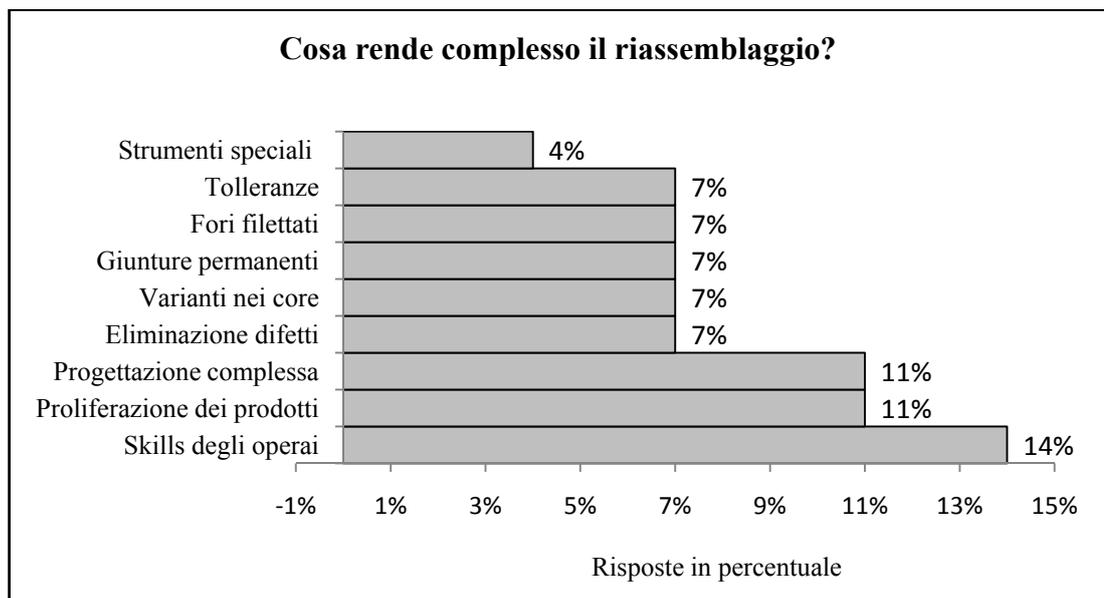


Figura 6-6. Principali difficoltà nella fase di assemblaggio (Hammond, et al., 1998).

6.2.3 Design for multiple life cycle

Progettare un prodotto, affinché affronti più cicli di vita, comporta interventi che riguardano:

- le modalità di pulizia;
- la durevolezza;
- l'affidabilità;
- il ripristino.

Di qui l'ulteriore articolazione teorica in:

- *design for cleaning*;
- *design for durability*;

- *design for reliability*;
- *design for remediation*.

Questo tipo di progettazione, comunque, non è richiesta per tutti i tipi di prodotto o componenti. Sarebbe sbagliato pensare che un elemento debba fornire utilità a più cicli ad ogni costo. Come si nota in letteratura, “*alcuni componenti potrebbero essere concepiti dal progettista per singoli o multipli riusi, rifabbricazioni, ricicli o direttamente per lo smaltimento*” (Nasr, et al., 2006). Le decisioni vanno prese altresì in modo iterativo, coordinandole con la configurazione del prodotto e del processo. Per alcune parti potrebbe rivelarsi più conveniente effettuare un aggiornamento oppure sostituirle con ricambi evoluti dal punto di vista tecnologico.

La fase di pulizia è quella più dispendiosa dal punto di vista delle risorse impiegate nel processo. Si stima che il 90% dei componenti devono essere necessariamente sottoposti a pulizia durante il trattamento (Hundal, 2000). Un progresso in efficienza in questa fase potrebbe migliorare significativamente la convenienza del trattamento. In questo senso l’accessibilità è il fattore chiave. La forma del componente va concepita in modo da non ostacolare la pulizia dello stesso. Di pari rilevanza è, poi, evitare l’accumulo d’incrostazioni durante l’uso, non solo per facilitare i trattamenti successivi, ma anche poiché questo potrebbe influire negativamente sulla funzionalità e sulla durevolezza del prodotto. Infatti, se si guarda ai risultati dell’indagine illustrati nella Figura 6-7, su cosa rende difficile e costosa la pulizia dei componenti, si può notare che le risposte più frequenti sono l’accumulo di sporco, la corrosione, la ruggine e le forme inadatte. Il fatto che la risposta più seguita riguardi le restrizioni imposte nel processo dalla legislazione ambientale non va letto come una mancata conferma della tesi esplicitata. Chi risponde, infatti, tende a sottovalutare le logiche alla base delle restrizioni, poiché queste sono finalizzate a correggere delle esternalità. Si finisce, quindi, per considerarle inutilmente vessatorie, attribuendo a queste un peso spropositato.

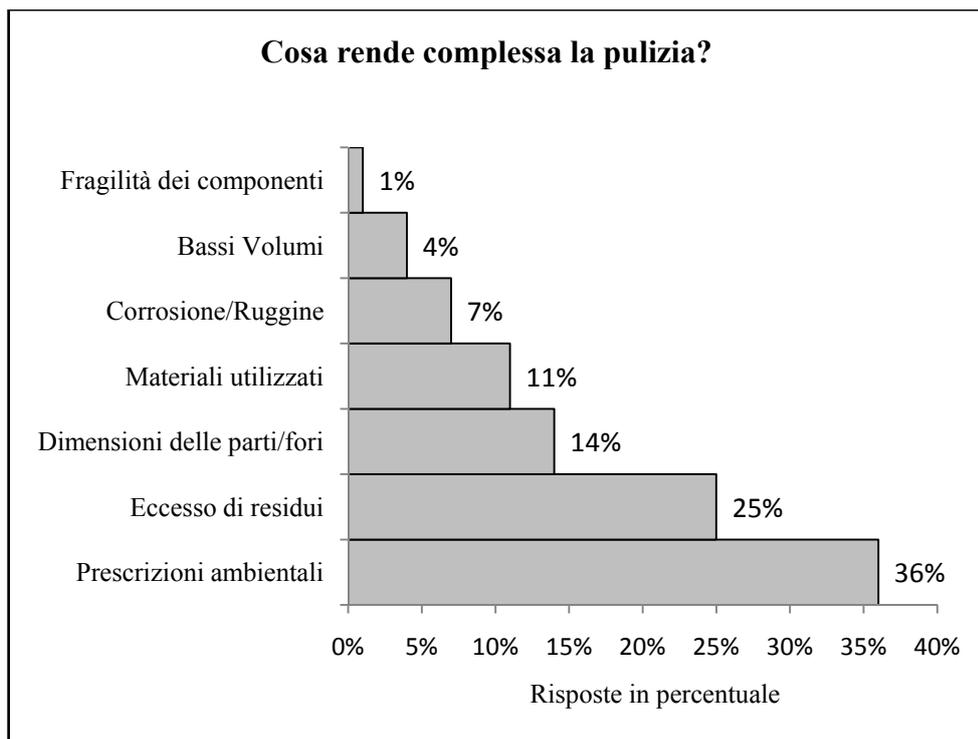


Figura 6-7: Principali difficoltà nella fase di pulizia (Hammond, et al., 1998).

Alcune regole che riguardano la fase di pulizia da seguire durante la progettazione sono (Hundal, 2000):

- dovrebbe rendere accessibili gli angoli e le cavità, cercando di ridurli il più possibile;
- la linea prescelta dovrebbe essere funzionale alla pulizia;
- marcature ed etichette non dovrebbero essere d'ostacolo;
- i solventi utilizzati dovrebbero essere a basso impatto ambientale;
- le superfici dovrebbero essere regolari e resistenti all'uso.

L'affidabilità e la durevolezza del prodotto dipendono dalla scelta di materiali con caratteristiche appropriate allo scopo e dal modo in cui vengono trattati durante la fabbricazione. La qualità di prodotto recuperato dipende dalle condizioni d'uso e dalla capacità dello stesso di resistere ai fattori usuranti⁴⁷. Un prodotto usato poco e male potrebbe avere caratteristiche completamente

⁴⁷ Un esempio chiarificatore può essere fatto pensando al settore automobilistico. Tutte le auto nuove sono garantite e quindi uguali, per cui nell'acquisto non è necessario valutare se esistono differenze tra due prodotti della stessa serie. Quando, invece, si acquista un'auto usata è necessario vedere e provare diverse macchine dello stesso modello, dato che la funzionalità e l'integrità dipende dal modo in cui è stata usata (Ruggeri Laderchi, et al., 2004).

differenti da un prodotto simile usato intensamente ma nel modo corretto. Una progettazione finalizza ad implementare la resistenza alle condizioni d'uso, unita ad un'efficace comunicazione con l'utilizzatore o con coloro che partecipano al processo di produzione, quando sono richieste delle prove, possono scongiurare usi impropri e danneggiamenti. Il ripristino del resto richiede un ammontare di risorse commisurato allo stato di usura del core.

6.2.4 Design for evaluation

L'ispezione del prodotto per stabilire quali sono le sue condizioni correnti al momento della riconsegna è necessaria per scegliere la strategia più appropriata. Per alcuni componenti, caratterizzati da livelli di degradazione altamente variabile durante l'uso, questa è imprescindibile, poiché potrebbe non essere stata predeterminata alcuna strategia a fine vita. Importate è, a tal proposito, formulare i criteri di valutazione anticipatamente durante lo sviluppo del prodotto per favorire l'oggettività e la coerenza dell'analisi (Nasr, et al., 2006).

Le difficoltà dell'ispezione, come evidenzia la Figura 6-8, riguardano in primis il background di chi va ad effettuare l'operazione, quando non ci sono le condizioni per ricorrere a sistemi d'analisi automatizzati.

Altro aspetto è la definizione a priori dei criteri di discriminazione, nonché le tecniche per l'identificazione dei difetti. Criteri di discriminazione molto selettivi potrebbero determinare un'ingiustificata carenza d'input, mentre una selezione blanda finisce con l'accettare pezzi destinati a guastarsi a breve.

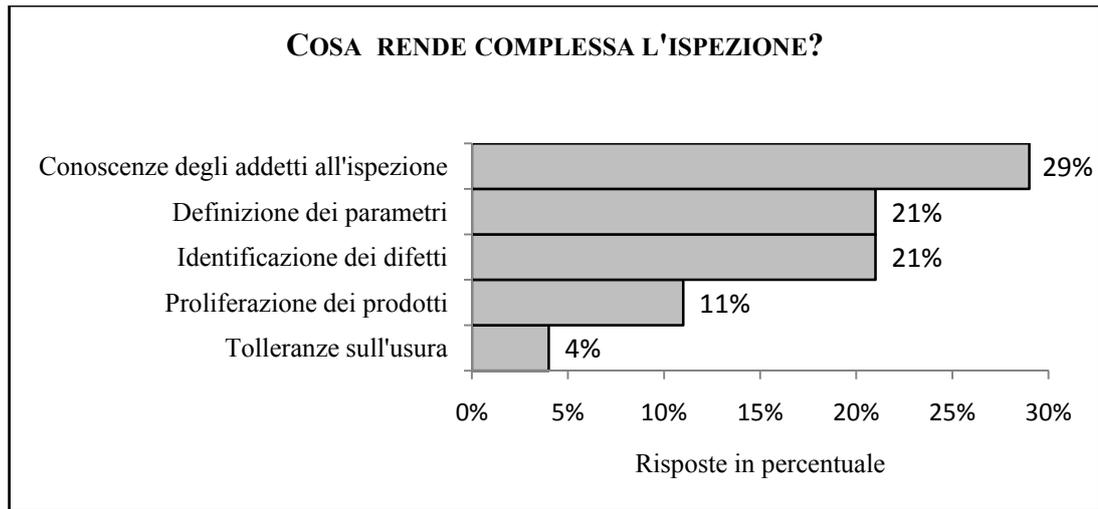


Figura 6-8: Difficoltà nella fase d'ispezione (Hammond, et al., 1998)

Una progettazione di dettaglio finalizzata alla valutazione può fungere da supporto in fase di valutazione concentrando l'attenzione sulla raccolta delle informazioni riguardo uso e condizioni del *core*, di modo da renderle esplicite e togliere discrezionalità agli operatori. Ciò potrebbe essere fatto attraverso:

- registratori di dati interni al prodotto, come le etichette RFID che si aggiornano nel corso dell'uso;
- il ricorso a «componenti sacrificali», parti progettate appositamente per deteriorarsi in modo programmato, che permettono di verificare lo stato di usura a seguito dell'uso;
- tradizionali database sulla vita multipla del prodotto.

6.3 Design for upgrade e concetto di modularità

Esistono ragioni che portano a propendere per lo smaltimento finale del prodotto che vanno oltre i guasti o l'usura dei componenti. La maggior parte dei prodotti diviene tecnologicamente o esteticamente obsoleta e non avrebbe alcuna accoglienza da parte del mercato, magari semplicemente per via di un layout stilisticamente superato. Se questi aspetti venissero, invece, affrontati in fase di progettazione ricorrendo ad una struttura modulare, il prodotto potrebbe essere

aggiornato sia da un punto di vista stilistico che funzionale con interventi mirati ed un bilancio costi-benefici estremamente positivo, prolungandone la vita utile.

Aggiornare un prodotto durante la fase di rifabbricazione ha la finalità di riutilizzare la sua configurazione fisica di partenza approntando miglioramenti mirati. Naturalmente bisogna tenere presente una serie di vincoli rispetto allo stadio di progettazione quando esiste una libertà di manovra più ampia. Per ogni prodotto esisteranno delle limitazioni, al di là delle quali non sarà più possibile intervenire. Il «*Design for Upgrade*» si prefigge come obiettivo quello di ridurre tali vincoli. Vi rientrano tecniche di progettazione modulare e per l'ottimizzazione del ciclo di vita⁴⁸.

La progettazione modulare ha come obiettivo quello di raggruppare su un'unica «piattaforma», o anche «modulo», componenti con una vita tecnologica e di mercato simile. Quando si vorrà procedere all'aggiornamento dei moduli, basterà rimuoverli e sostituirli come versioni evolute. L'approccio modulare viene considerato un fattore chiave per il successo di un sistema di recupero del prodotto (Seliger, et al., 2007). Spesso, però la progettazione non supporta una configurazione del prodotto in tal senso (Kimura, 1997).

Un'architettura modulare si compone di gruppi di componenti indipendenti tra loro sia da un punto di vista fisico che funzionale. Si ha indipendenza funzionale, se un modulo è in grado di assolvere la funzione per la quale è stato concepito in via autonoma dal resto del prodotto, ma ciò non toglie che esista un'interazione tra i differenti moduli, i quali andranno a scambiarsi energia, segnali o flussi di materiali⁴⁹. L'indipendenza fisica, invece, deriva dai metodi di accoppiamento che permettono di procedere all'assemblaggio, al disassemblaggio non distruttivo ed al ri-assemblaggio senza difficoltà (Zettl, et al., 2007). La progettazione d'interfacce tra moduli che semplificano queste operazioni ha ricadute positive sul modello produttivo, sulla manutenzione, nell'apporto di modifiche, ma anche nella «personalizzazione di massa» dei prodotti (Tseng, 1994). Le interfacce hanno una struttura standard che permette

⁴⁸ Il *design for upgrade* potrebbe rientrare nelle tecniche di *design for multiple life cycle*, ma qui lo si tratta separatamente per via della sua elevata criticità.

⁴⁹ In alcuni casi si parla anche di interazioni geometriche (Pimmler, et al., 1994).

l'adattamento del modulo su più prodotti, varianti o generazioni di prodotto. Ciò ha sicuramente ricadute positive su di un processo di rifabbricazione (Sundin, 2004).

Un problema di DfU strettamente connesso all'architettura modulare riguarda l'ottimizzazione del ciclo di vita, cioè determinare il momento giusto per procedere all'aggiornamento, ma soprattutto comunicarlo al cliente, affinché vi si possa provvedere senza che ciò possa essere percepito come un disvalore dal cliente stesso, finendo col deteriorare la relazione. Di solito i criteri adottabili sono:

- obsolescenza funzionale, procedendo all'aggiornamento quando il prodotto non riesce più ad assolvere la propria funzione;
- obsolescenza estetica, per procedere quando il prodotto non è più attrattivo per il consumatore;
- obsolescenza programmata, ricorrendo a supporti tecnologici che avvertano il consumatore che bisogna procedere all'operazione.

Nello scenario attuale le continue innovazioni in campo tecnologico, nel marketing, nel fashion design possono rappresentare una minaccia per la fattibilità e la convenienza a rifabbricare prodotti su vasta scala. Il continuo arrivo sul mercato di nuovi modelli finisce coll'exasperare le aspettative dei consumatori rispetto a nuove funzioni, rendendo la rifabbricazione inadeguata nel sostenere il confronto col nuovo ed incapace di andare incontro ai gusti del mercato. L'inasprimento del clima competitivo in molti casi rende insufficiente il ripristino ad una condizione *like new*, quella che una volta era propria di un prodotto nuovo, poiché l'accoglienza del mercato nei confronti dell'offerta potrebbe anche essere nulla.

In un contesto estremamente dinamico si possono integrare le procedure di rifabbricazione con un aggiornamento del prodotto nelle sue parti obsolete, procedendo alla sostituzione di specifici moduli. L'*aggiornabilità* di un prodotto, *product upgradeability*, può essere definita come la sua propensione ad un suo efficiente rinnovamento senza snaturare la configurazione originaria (Xing, et al., 2007). Viene, quindi, incontro il DfU ed in particolare una progettazione

modulare che crei le condizioni per l'operazione. La maggior parte degli studi in materia si è concentrata su aspetti di merito, i percorsi operativi da seguire per procedere ad un aggiornamento (Beck, et al., 1997). Un interessante filone riguarda, invece, l'elaborazione di modelli per valutare l'aggiornabilità di un prodotto durante il processo di rifabbricazione, come quello di Xi *et al.* (2007). Le ricerche sulla valutazione dell'aggiornabilità rappresentano un filone di grande rilevanza nel campo della rifabbricazione, poiché rappresentano il passaggio da una gestione adattiva ad una proattiva dei prodotti. La finalità di un modello di questo genere è fungere da strumento di supporto per i tecnici nell'individuazione dei vincoli in fase progettuale, di modo da propendere verso le soluzioni più funzionali allo scopo. Pur se gli studi sono ancora ad una fase iniziale, testimoniano che le imprese cercano di modellare il business in funzione del contesto competitivo estremamente mutevole, cercando di ridurre i vincoli che vertono sul prodotto prima di andare sul mercato, in modo da avere la più ampia libertà possibile nell'operare il trattamento alla fine del ciclo di vita e rispondere al meglio alle insidie della competizione.

Oltre alle difficoltà nel reperimento di manodopera qualificata, altro problema è la «proliferazione dei prodotti». Con quest'espressione s'indica la tendenza delle imprese a lanciare sul mercato varianti di uno stesso prodotto, facendo frequenti modifiche sui moduli, che però hanno bassi impatti sui modelli. Questa pratica, che può rispondere a logiche d'innovazione incrementale, ma più verosimilmente, ad aumentare il tasso d'obsolescenza del prodotto usato, rende difficile la standardizzazione delle procedure di trattamento, poiché porta le imprese a dover operare su piccoli lotti, facendo lievitare i costi⁵⁰. Altro problema considerato rilevante è la riduzione delle dimensioni dei componenti nel corso del tempo che, da un lato rende l'operazione di ripristino a complessità crescente, mentre dall'altro contribuisce a chiudere i mercati di sbocco, poiché il prodotto potrebbe apparire superato agli occhi dei consumatori.

⁵⁰ Nell'*automotive*, ad esempio, la proliferazione si è diffusa a partire dagli anni '80 con l'avvento della produzione flessibile e l'aumento dei modelli di prodotto. Questo ha portato alla forte riduzione dei componenti condivisi tra i modelli con il conseguente aumento delle varianti (Womack, et al., 1991).

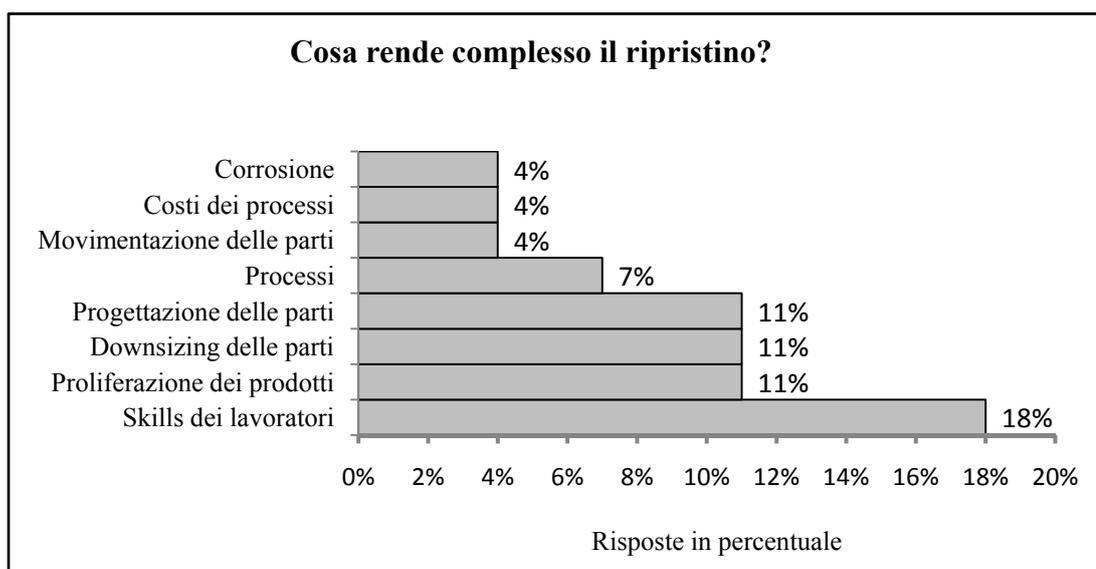


Figura 6-9. Principali difficoltà nella fase di ripristino (Hammond, et al., 1998).

6.4 Valutazione di rifabbricabilità

Prima di avviare un programma di rifabbricazione di un prodotto, è opportuno che si faccia una preventiva valutazione di rifabbricabilità del prodotto stesso, prefigurando, in questo modo, le condizioni per un business profittevole.

Tale valutazione non si deve solo limitare a considerazioni sulla fattibilità tecnica del processo di rifabbricazione, ovvero capire se il prodotto ha una struttura che permetta di procedere alla sua rifabbricazione o meno (architettura del prodotto, possibilità di procedere ad un disassemblaggio non distruttivo, tecniche di giuntura, attitudine al ripristino delle parti, ecc.); anzi l'orizzonte di valutazione deve essere più ampio e superare i confini della vita di un singolo prodotto.

La valutazione di rifabbricabilità deve includere, in generale, questioni come:

- economicità del processo produttivo, sia in termini monetari che di risorse assorbite;
- grado di stabilità della tecnologia del prodotto nel corso degli anni;

- esistenza di una domanda di riferimento interessata a questo tipo di proposta di valore;
- aspetti di carattere ambientale.

Una valutazione limitata all'ambito tecnico avrebbe senso in uno scenario di tipo *reattivo* ovvero di mera applicazione di eventuali leggi o direttive sul recupero del prodotto stesso, per verificare a quale opzione di recupero il prodotto stesso possa prestarsi meglio.

L'obiettivo più generale di una valutazione di rifabbricabilità, invece, deve verificare se esistono le condizioni affinché un'impresa possa avviare un business sostenibile per la costruzione di un vantaggio competitivo durevole nei confronti dei competitor, che verta sul recupero del prodotto ed assicuri un adeguato ritorno economico, benefici in termini di strategia e politica aziendale, una riduzione dell'impatto ambientale.

6.4.1 Modello logico

In questo paragrafo si cerca di delineare un percorso logico che porti ad una verosimile valutazione di rifabbricabilità (Figura 6-13).

La valutazione sulla rifabbricabilità di un prodotto, che non è stato concepito dal punto di vista progettuale per questo tipo di trattamento, inizia con una comparazione tra la durata del ciclo di vita del prodotto e quella della tecnologia su cui si basa (Figura 6-10).

Si può pensare ad un percorso di riutilizzo solo se il prodotto esaurisce la propria utilità prima di diventare tecnologicamente obsoleto. Il ciclo di vita medio del prodotto deve essere inferiore a quello della tecnologia.

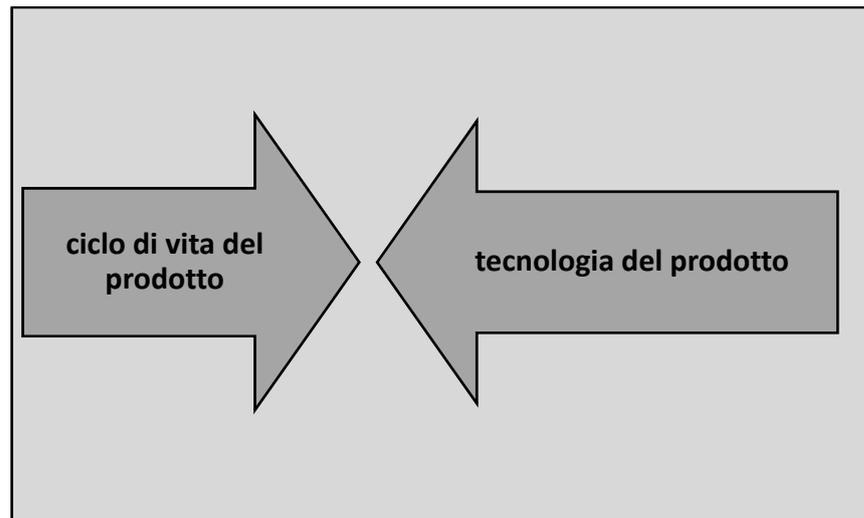


Figura 6-10: Confronto tra ciclo di vita del prodotto e tecnologia di riferimento

In caso di esito positivo del precedente confronto è possibile passare al secondo momento della valutazione di rifabbricabilità del prodotto ovvero a valutare se lo stesso esaurisce la sua utilità presso l'utilizzatore più spesso per questioni di obsolescenza stilistica o di tipo funzionale. Per obsolescenza stilistica si fa riferimento alla perdita di *appeal* estetico o da status, pur rimanendo il prodotto perfettamente efficiente da un punto di vista tecnico, mentre quella funzionale riguarda l'incapacità di assolvere la funzione per la quale è stato realizzato a causa di guasti, difetti, danneggiamenti o più semplicemente perché ha esaurito delle risorse impiegate nel suo funzionamento.

I prodotti affetti da obsolescenza funzionale sono potenziali fonti di *core*, mentre quelli affetti da problemi stilistici difficilmente si prestano al recupero, a meno di essere caratterizzati da un'architettura che permetta un aggiornamento anche radicale delle componenti estetiche.

Se il bene supera la valutazione di obsolescenza, si può porre l'attenzione sulla sua architettura.

Il processo di rifabbricazione prevede una serie di attività quali disassemblaggio, valutazione, pulizia e ripristino delle componenti, riassettaggio ecc.. Queste operazioni sono possibili solo se i componenti sono standardizzati ed intercambiabili. Un prodotto fatto da parti con giunture non

reversibili non può essere sottoposto a nessun trattamento che ne conservi il valore aggiunto ma ogni intervento ha carattere distruttivo.

Un riscontro positivo su quest'aspetto porta a focalizzare l'attenzione sull'usura complessiva dei componenti per verificarne lo stato funzionale. Parti molto usurate, infatti, potrebbero complicare il ripristino o addirittura renderlo impossibile.

Il concetto di usura (deterioramento dei componenti) si collega al valore aggiunto residuo del prodotto. Se il potenziale *core* presenta un livello d'usura complessivamente basso significa che ha conservato, a fine vita, gran parte del suo valore. Un alto valore aggiunto si traduce in un basso dispendio di risorse (manodopera, materiali, ecc.) per il ripristino dello stesso. L'evidenza empirica, infatti, dimostra il successo del processo di rifabbricazione di prodotti consumabili. Di conseguenza per i prodotti molto usurati, se possono venir recuperati, si preferisce procedere al riciclo dei materiali, distruggendo il valore aggiunto rimasto, visto sarebbe troppo dispendioso ricostituirlo (Figura 6-13).

Non basta, comunque, che il valore aggiunto trattenuto sia alto. Questo, infatti, va rapportato all'effettiva disponibilità di *core* da destinare al processo di rifabbricazione nel tempo (Figura 6-11), ed ai costi che l'impresa dovrà sostenere per entrare in possesso della quantità opportuna di *core* (costi per la costituzione di una rete di logistica inversa, compensi o incentivi da corrispondere a consumatori o distributori per la restituzione dei prodotti).

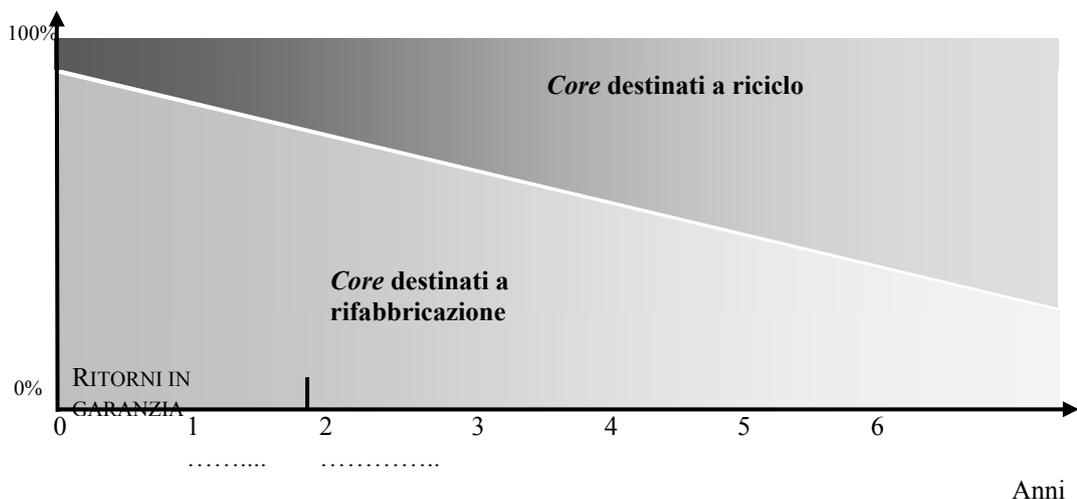


Figura 6-11: Flusso dei *core* destinati a rifabbricazione

Non vanno trascurati, in tale valutazione, eventuali costi di smaltimento evitati per ottemperare a normative EPR. Solo se i costi d'acquisizione sono *ragionevoli* rispetto alla quantità ed alla qualità dei *core* disponibili, si può prendere in seria considerazione un'iniziativa di rifabbricazione.

Le valutazioni precedenti possono essere considerate delle condizioni necessarie ma non sufficienti ad un business profittevole di rifabbricazione.

Infatti, a questo punto, il focus dell'analisi si deve spostare sulla strategia aziendale con riguardo alla *value proposition* che s'intende offrire al mercato.

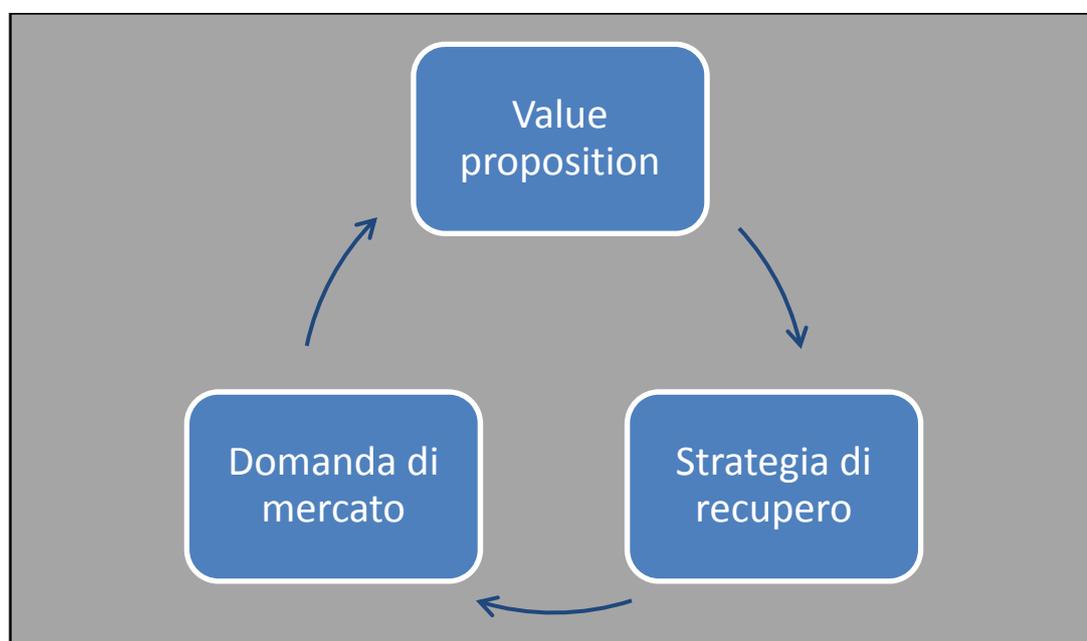


Figura 6-12: Value proposition e determinazione della domanda

Come visto in precedenza, la combinazione prodotto-servizio può articolarsi su un orientamento al prodotto, al consumatore o al risultato. Solo partendo dall'orientamento prescelto si può valutare se esiste un segmento di mercato interessato alla proposta. Se sulla base della scelta non si riscontra un segmento target dalle dimensioni soddisfacenti, si può eventualmente rivedere la connotazione della *value proposition*, modificando l'orientamento fino a trovare quello che incontra il favore dei clienti (Figura 6-12).

Riscontrata l'esistenza di clienti potenzialmente interessati in numero adeguato, si può spostare l'analisi su aspetti che riguardano il processo di rifabbricazione in senso stretto. In particolare vanno verificati aspetti tecnologici e gestionali del processo di recupero stesso.

Andrà verificata l'esistenza di tecnologie attraverso le quali si possa procedere al disassemblaggio del *core*. Inoltre la verifica deve investire anche la tecnologia da utilizzare per il ripristino delle parti recuperabili. Questi due aspetti sono particolarmente critici anche perché, insieme alla gestione delle attività della catena logistica inversa, impattano pesantemente sull'economicità del processo di recupero. La sostenibilità economica del processo è fondamentale, infatti, è difficile immaginare l'avvio di un processo per sole ragioni di sostenibilità ambientale, senza alcuna prospettiva reddituale.

Ovviamente una valutazione di rifabbricabilità non può prescindere da problematiche di tipo ambientale: attraverso un'analisi del ciclo di vita del prodotto bisognerà verificare che l'opzione di recupero in studio porti alla redazione di un bilancio ambientale positivo sulle risorse assorbite e risparmiate. Un bilancio negativo, infatti, potrebbe scontrarsi sia con normative volte ad abbattere l'impatto ambientale dei prodotti, sia svalutare l'immagine che l'azienda trasmette ai consumatori.

Se un prodotto supera tutti gli step dell'analisi, si può affermare con una certa confidenza che esistono la condizione per l'avvio di un programma di rifabbricazione sullo stesso. La rifabbricazione rappresenta una potenziale opportunità da cogliere.

Dall'analisi precedente sulla rifabbricabilità di un prodotto esistente si possono anche trarre delle indicazioni e delle linee guida per i futuri standard di progettazione. Un approccio *DfRem* dovrebbe ruotare principalmente su (Ijomah, 2002):

- metodi di accoppiamento;
- complessità del prodotto;
- materiali utilizzati.

La complessità dei metodi d'accoppiamento impatta sulle risorse necessarie per procedere al disassemblaggio, fino anche a renderlo impossibile.

La complessità del prodotto dipende dal numero di componenti, dalla loro allocazione interna e dal ricorso ad una progettazione modulare. Pochi moduli semplici da disassemblare formano una struttura poco articolata e agevolano le operazioni da realizzare. Al contrario un'allocazione complessa potrebbe ostacolare l'accesso alle parti danneggiate, ma anche l'identificazione stessa dei difetti. Trattare prodotti poco complessi, inoltre, favorisce l'automazione del processo di rifabbricazione una volta raggiunto il volume critico di prodotti, abbassando il livello complessivo dei costi. Questo può essere utile soprattutto per categorie di prodotto con basso valore unitario, per le quali interventi di tipo manuale sarebbero antieconomici. Nel caso, invece, dei beni complessi dall'alto valore di mercato, tale aspetto riveste un carattere meno critico, poiché può essere comunque conveniente condurre il processo attraverso la flessibilità della manodopera specializzata.

Progettare componenti durevoli e resistenti all'usura favorisce la conservazione del valore aggiunto e semplifica gli interventi da realizzare per il ripristino e la pulizia degli stessi. Tale aspetto passa per la scelta di opportuni materiali in grado di supportare più cicli d'uso e tutte le condizioni di esercizio.

Per quanto riguarda la *durevolezza* dei componenti bisogna, però, considerare che una progettazione troppo spinta su questo aspetto potrebbe incorrere nel rischio di allungare la vita utile del bene oltre il ciclo della tecnologia. A questo proposito, quindi, si potrebbe ipotizzare ad una progettazione *differenziale*: progettare una struttura in cui i parametri di resistenza e durevolezza siano meno stringenti per alcuni componenti facilmente soggetti ad aggiornamenti.

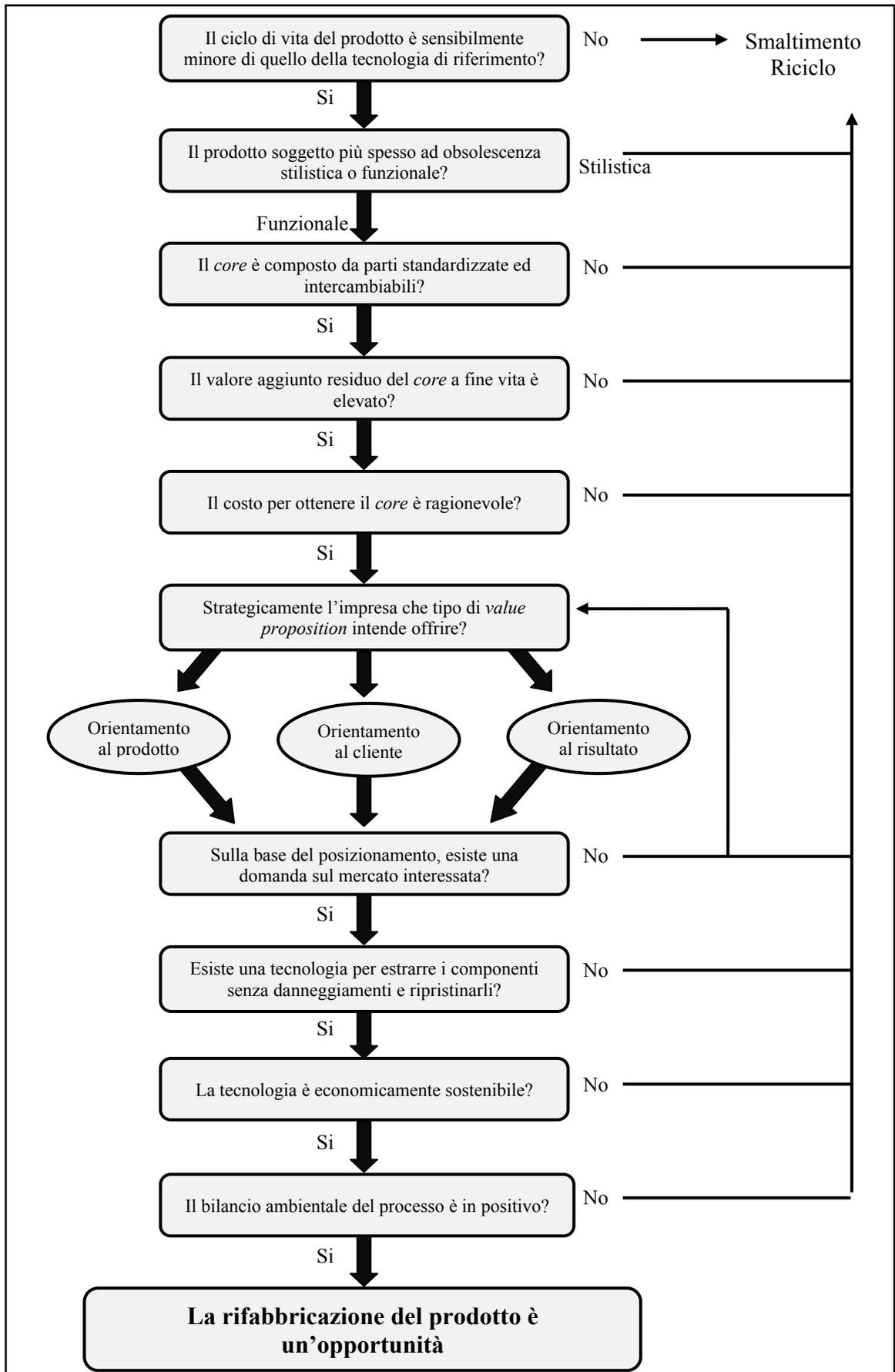


Figura 6-13: Modello logico per valutare la rifabbricabilità di un prodotto

6.5 Conclusioni

La rifabbricabilità di un prodotto dipende da una combinazione di variabili esterne che passano per l'analisi della domanda di mercato, della stabilità della tecnologia di riferimento, dell'economicità del processo e dell'impatto ambientale. L'architettura del prodotto è una condizione necessaria ma non sufficiente per valutare l'opportunità di un'iniziativa in questo senso. Di qui lo sviluppo di un modello logico di approccio al problema che nasce dalla combinazione di variabili di scenario, di strategia aziendale e di architettura del prodotto. Alla luce di quanto verificato, sarebbe riduttivo considerare l'avvio di un programma di rifabbricazione come il frutto di un mero recepimento di imposizioni legislative di tipo *EPR* sulla gestione integrata dei prodotti.

È stato ampiamente dimostrato che gli aspetti tecnologici sono una condizione necessaria per la rifabbricabilità, e che le potenzialità di una strategia progettuale, orientata sin dall'inizio al recupero attraverso l'opzione di rifabbricazione, sono di gran lunga maggiori rispetto ad una strategia reattiva di riciclo. In fase progettuale esiste un'ampia libertà d'azione volta a semplificare la natura ed i costi dei trattamenti a fine vita, potendo, qui, rimuovere preventivamente i vincoli che in un momento successivo potrebbero presentarsi. Agendo in questo modo è possibile ampliare la gamma di prodotti potenzialmente rifabbricabili.

Nel processo di sviluppo di un nuovo prodotto, la fase di progettazione rappresenta lo stadio più critico, per mantenere alta la qualità dei ritorni e favorire la conservazione del valore aggiunto durante l'uso. È necessario, infatti, riuscire a concepire un output che sia poco sensibile alle condizioni operative e alle modalità di utilizzo, in modo da ridurre la variabilità delle condizioni dei prodotti restituiti, e da ottenere una qualità media dei ritorni più elevata.

CONCLUSIONI

Esistono diverse ragioni per considerare la rifabbricazione dei prodotti come un'opportunità di business molto attrattiva in un'ottica di vantaggio competitivo.

I risparmi in termini di risorse naturali, che si ottengono attraverso la rifabbricazione di un prodotto, possono essere letti come una riduzione delle transazioni tra gli attori coinvolti, nella direzione di migliorare l'efficienza del sistema economico.

Tale miglioramento, però, non va considerato solo in termini d'impatto ambientale e sostenibilità, dal momento si traduce in minori costi per le imprese, le quali limitano gli approvvigionamenti di materie prime dai fornitori e massimizzano il valore aggiunto dei propri prodotti, ottenendo in cambio benefici aggiuntivi in termini di feedback sui prodotti, immagine, relazioni con i clienti, e diversificazione dei ricavi e dei profitti.

Un business virtuoso, orientato al recupero richiederebbe la transizione da un'economia industriale ad un'economia dell'accesso, in cui predominino i servizi e la dematerializzazione delle proposte di valore fatte al mercato. L'accezione più alta, quindi, di una proposta che verte su un prodotto rifabbricato, si raggiunge con un posizionamento strategico orientato al risultato, laddove si stringe con il cliente un contratto basato sull'assolvimento di una funzione senza far riferimento al mezzo fisico attraverso cui soddisfarla. Non sempre tale relazione si è evoluta verso l'accesso puro: per alcune categorie di prodotti permane tra i consumatori un marcato legame con la proprietà del prodotto; le imprese non hanno saputo presentare al mercato la loro proposta in modo corretto; il mercato non è ancora maturo per questo tipo d'esperienza. La criticità degli aspetti tecnici, tecnologici e di progettazione nella rifabbricazione, indica che il sistema del valore di un prodotto rifabbricato evolve verso un contesto in cui il peso ed il numero dei produttori indipendenti diminuisce a favore degli OEM, i quali, quindi, dovrebbero superare i timori di un possibile *effetto sostituzione* dei prodotti nuovi con quelli rifabbricati.

BIBLIOGRAFIA

Agudo Dominguez, E. 2005. "Boosting Remanufacturing Industry: Looking for a Change in the Remanufacturing Paradigm. A Case Study in UK Automotive Sector". *MSc Thesis*. Silsoe : Cranfield University, 2005.

Allada, V. 2000. "Preparing Engineering Students to Meet the Ecological Challenges through Sustainable Product Design". *Proceedings of the 2000 International Conference on Engineering Education*. University of Missouri-Rolla (USA), 2000.

Amezquita, T. e Bras, B. 1996. "Lean Remanufacture of an Automobile Clutch". *Proceedings of First International Working Seminar on Reuse*. Eindhoven, The Netherlands : s.n., 1996.

Baines, TS., et al. 2007. "State of the Art in Product-Service Systems". *Journal of Engineering Manufacture*. Professional Engineering Publishing, 2007, Vol. 221, 10, pp.1543-1552.

Beck, R.C. e Gros, S.E. 1997. "Remanufactured Power Generation Equipement - an Economical Solution for Self-Generation, Process or Peaking Applications". *International Exhibition & Conference for the Power Generation Industries*. s.l. : Power-Gen, 1997.

Behrend, S., et al. 2003. *"Eco-Service Development. Reinventing Supply and Demand in the European Union"*. Sheffield : Greenleaf, 2003. ISBN 1874719446.

Behret, H. e Korugan, A. 2007. Performance analysis of a hybrid system under quality impact of returns. *Computers & Industrial Engineering*. 2007.

—. 2005. Quality of returns: is it a factor in remanufacturing? *Proceeding in the SPIE*. 2005.

Bras, B. e Hammond, R. 1996. "Design for Remanufacturing Metrics". *Proceedings of First International Working Seminar on Reuse*. Eindhoven, The Netherlands : s.n., 1996. pp. 35-51.

Brezet, H. e Van Hemel, C. 1997. "Ecodesign - A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption". *Industry and environment* . UNEP, 1997, Vol. 20, 1-2, .

Brigden, K., et al. 2008. "Chemical Contamination at E-Waste Recycling and Disposal Sites in Accra and Korforidua, Ghana". Amsterdam, The Netherlands : Greenpeace International, 2008. 10.

Camacho, E., et al. 2002. "An Experimental Validation of Hypothetical WTP for a Recyclable Product". *Working Paper LINEEX*. Castellon, Spain : University Jaume I of Castellón, 2002. 34/02.

Chandy, R.K. e Tellis, G.J. 1998. "Organizing for Radical Product Innovation: The Overlooked Role of Willingness to Cannibalize". *Journal of Marketing Research*. American Marketing Association, 1998, Vol. 35, 4, pp. 474–487.

Chick, A. e Micklethwaite, P. 2002. "Obstacles to UK Architects and Designers Specifying Recycled Products and Materials". Aberystwyth : Design History Society Conference, 2002.

Clegg, A. e Williams, R. 1994. "The Strategic and Competitive Implications of Recycling and Design for Disassembly in the Electronics Industry". *Proceeding of IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. San Francisco : s.n., 1994. Vol. 6, 12.

Cooper, T. e Myers, K. 2000. "Prospects for Household Appliances". Sheffield : Sheffield Hallam University Centre for Sustainable Consumption, 2000.

Daniel, V.D.R., Teunter, R.H. e van Wassenhove, L. 2003. Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing. *Manufacturing & service Operations Management* . 2003. Vol. 5, 4, p. 303-316.

Dewberry, E. e Goggin, P. 1996. "Spaceship Ecodesign?" . *Co-design*. 1996, Vol. 5, 6, pp. 12–17.

Ferguson, M., et al. 2006. Remanufacturing planning with different quality levels for product returns. *SSRN*. 2006. Working Paper no.RHS-06-050 .

Ferrer, G. e Guide, V.D.R. 2002. "Remanufacturing Cases and State of the Art". [aut. libro] R.U. Ayres e L.W. Ayres. *"A Handbook of Industrial Ecology"*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2002.

Fleischmann, M. e Kuik, R. 2003. On optimal inventory control with independent stochastic item returns. 2003. Vol. 151, 1, p. 25-37.

Fleischmann, M., Kuik, R. e Dekker, R. 2002. Controlling inventories with stochastic item returns: A basic model. 2002. Vol. 138, 1, p. 63-75.

Geyer, R. e Van Wassenhove, L.N. 2003. "Remanufacturing Products with Limited Component Durability and Finite Life Cycles". *Working Paper*. 2003.

Ginter, P.M. e Starling, J.M. 1978. "Reverse Distribution Channels for Recycling". *California Management Review*. University of California, 1978, Vol. 20, 3, pp. 73-82.

Giuntini, R. e Gaudette, K. 2003. "Remanufacturing: The Next Great Opportunity for Boosting US Productivity". *Elsevier*. Business Horizons, 2003, November-December, pp.41-48.

Gray, C. e Charter, M. 2007. "Remanufacturing and Product Design: Designing for the 7th Generation". s.l. : CfSD Research, 2007. <http://www.cfsd.org.uk/Remanufacturing%20and%20Product%20Design.pdf>.

Guide, V.D.R., Jayaraman, V. e Srivastava, R. 1999. "Production Planning and Control for Remanufacturing: A State-of-the-Art Survey". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. Elsevier, 1999, 15, pp. 221-230.

Guide, V.D.R. 2000. "Production Planning And Control For Remanufacturing: Industry Practice And Research Needs". *Journal of Operations Management* . Elsevier, 2000, 18, pp. 467–483.

—. 2000. "Production Planning And Control For Remanufacturing: Industry Practice And Research Needs". *Journal of Operations Management*. Elsevier, 2000, Vol. 18, 4, p. 467–483.

Guide, V.D.R., Jayaraman, V. e Linton, J.D. 2003. "Building Contingency Planning for Closed-Loop Supply Chains with Product Recovery". *Journal of Operations Management*. Elsevier, 2003, Vol. 21, 3, pp. 259-279.

Guiltinan, J.P. e Nwokoye, N.G. 1975. "Developing Distribution Channels and Systems in the Emerging Recycling Industries". *International Journal of Physical Distribution*. Emerald, 1975, Vol. 6, 1, pp. 28–38.

Gungor, A. e Gupta, S.M. 1999. "Issues in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery: A Survey". *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier, 1999, Vol. 36, 4, pp. 811-853.

Guyer, H.H. 1999. "Industrial Processes and Waste Stream Management". New York : John Wiley and Sons, 1999. ISBN: 978047129984-4.

Halluite, J., et al. 2005. "The Challenge of Hazardous Waste Management in a Sustainable Environment: Insights from Electronic Recovery Laws". *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. Wiley InterScience, 2005, Vol. 12, 1, pp. 31-37.

Hammond, R., Amezcua, T. e Bras, B. 1998. "Issues in Automotive Parts Remanufacturing Industry: Discussion of Results from Surveys Performed among

Remanufacturers". *International Journal of Engineering Design and Automation, Special Issue on Environmentally Conscious Design and Manufacturing*. Elsevier, 1998, Vol. 4, 1, pp. 27-46.

Hax, A.C. e Wilde, D.L. 2001. "The Delta Project: Discovering New Sources of Profitability in a Networked Economy". London : MacMillan, 2001.

Hundal, M. 2000. "Design for Recycling and Remanufacturing". *International Design Conference*. Dubrovnik : University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, 2000.

Ijomah, W. 2002. "A Model-Based Definition of the Generic Remanufacturing Business Process". *Doctoral Dissertation*. Plymouth, UK : University of Plymouth, 2002.

Inderfurth, K. 2004. Optimal policies in hybrid manufacturing/remanufacturing systems with product substitution. *International Journal of Production Economics*. 2004. Vol. 90, 3, p. 325-343.

Inderfurth, K., Teunter R., H.,. 2001. Production planning and control of closed-loop supply chains. s.l. : Ecometric Institute Report, 2001. Vol. EI 2001-39.

Jacobs, M. 1991. "The Green Economy: Environment, Sustainable Development and the Politics of the Future". Pluto London : Pluto, 1991. ISBN 0745304125.

Kelton W.D., Sadowski R., Sadowski P. 2001. *Simulation with Arena (2nd ed.)*. Boston, U.S.A. : McGraw-Hill, 2001.

Kelton, W. D., Sadowski, R. e Sadowski, P. 2001. *Simulation with Arena*. New York : McGraw-Hill, 2001.

Kerr, W. e Ryan, C. 2001. "Eco-Efficiency Gains from Remanufacturing. A Case Study of Photocopier Remanufacturing at Fuji Xerox Australia. *Journal of Cleaner Production*. Wiley Interscience, 2001, 9, pp. 75-81.

Kiesmuller, G. P. 2003. A new approach for controlling a hybrid stochastic manufacturing/remanufacturing system with inventories and different leadtimes. 2003. Vol. 147, 1, p. 62-71.

Kiesmüller, G. P. e E., van der Laan. 2001. An inventory model with dependent product demands and returns. 2001. Vol. 72, 1.

Kimura, F. 1997. "Inverse Manufacturing: From Products to Services". *Proceedings of The First International Conference on Managing Enterprises - Stakeholders, Engineering, Logistics and Achievements*. Loughborough UK : Loughborough University, 1997.

Krikke, H., Le Blanc, I. e Van de Velde, S. 2004. "Product Modularity and the Design of Closed-Loop Supply Chain". *California Management Review*. University of California, 2004, Vol. 46, 2, pp. 23-39.

Lindahl, M., et al. 2006. "Integrated Product and Service Engineering". *Proceedings: Changes to Sustainable Consumption. Workshop of the Sustainable Consumption Research Exchange*. Copenhagen : s.n., 2006.

Linton, J., Yeomans, J.S. e Yoogalingam, R. 2002. "Supply Planning for Industrial Ecology and Remanufacturing Under Uncertainty: A Numerical Study of Leaded-Waste Recovery from Television Disposal". *Journal of the Operational Research Society*. Palgrave Macmillan, 2002, Vol. 53, 2, pp. 1185-1196.

Lund, R.T. 1984. "Remanufacturing". *Technology Review*. MIT, 1984, Vol. 87, 2, pp. 18-23.

—. 1998. "Remanufacturing: An American resource". *Proceedings of the Fifth International Congress Environmentally Conscious Design and Manufacturing*. Rochester, NY, USA : Rochester Institute of Technology, 1998.

—. 1985. "Remanufacturing: The Experience of the United States and Implications for Developing Countries". Washington, DC : World Bank Technical Paper, 1985. Vol. 31. ISBN 0821300776.

—. 1996. "The Remanufacturing Industry: Hidden Giant". Boston, Massachusetts : Boston University, 1996.

Mahadevan, B., Pyke, D. F. e Fleischmann, M. 2003. Periodic review, push inventory policies for remanufacturing. 2003. Vol. 151, 3, p. 536-551 .

Michaud, C. e Llerena, D. 2006. "An Economic Perspective on Remanufactured Products: Industrial and Consumption Challenges for Life Cycle Engineering". *Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*. Leuven, Belgium : s.n., 2006. pp. 543-548.

—. 2006. An economic perspective on remanufactured products: industrial and consumption challenges for life cycle engineering. *Proceedings of LCE*. 2006. p. 543-548.

Mitra, S. e Webster, S. 2007. "Competitive Strategy in Remanufacturing and the Impact of Take-Back Laws". *Journal of Operations Management*. Elsevier Science, 2007, Vol. 25, 6.

Mitra, S. 2007. Revenue management for remanufactured products. *Omega*. 2007. Vol. 35, 5, p. 553-562.

Mont, O., Dalhammar, C. e Jacobson, N. 2006. A new business model for baby prams based on leasing and product remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*. 2006. Vol. 14, 17, p. 1509-1518.

NAHB Research Center. 2001. *"Life Cycle Assessment Tools to Measure Environmental Impacts: Assessing Their Applicability to the Home Building Industry"*. Upper Marlboro, MD : U.S. Department of Housing and Urban Development, 2001.

Nasr, N. e Thurston, M. 2006. "Remanufacturing: A Key Enabler to Sustainable Product Systems" . Rochester, NY-USA : Rochester Institute of Technology, 2006.

Nasr, N., et al. 1998. "State of the Art Assessment of Remanufacturing Technology" . *Draft Document*. Rochester NY : Rochester Institute of Technology, 1998.

Neira, J., et al. 2006. "End of Life Management of Cell Phones in the United States". Santa Barbara, USA : University of California, 2006.

Noller, R. 1992. "Design for Disassembly Tactics". *Assembly*. 1992, Vol. 24, 6.

Nonaka, I. e Takeuchi, H. 1995. "The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation". New York : Oxford University Press, 1995. ISBN 0195092694.

Oraioupoulos, N., Ferguson, M.E. e Toktay, N.B. 2007. Relicensing as a secondary market strategy. Dallas, Texas : s.n., 2007.

Osibanjo, O. e Nnrom, I.C. 2008. "Material Flows of Mobile Phones and Accessories in Nigeria: Environmental Implications and Sound End-of-Life Management Options". *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier, 2008, 28, pp. 198-213.

Ostlin, J. 2008. "On Remanufacturing System. Analysis and Managing Material Flows and Remanufacturing Processes". *Tesi di Dottorato*. Linköping, Sweden : Linköping University, Department of Management and Engineering, 2008. 1192.

Ostlin, J., Sundin, E. e Bjorkman, M. 2008. "Importance of Closed-Loop Supply Chain Relationships for Product Remanufacturing". *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 2008, Vol. 115, 2, pp. 336-348.

—. 2007. "Product Lifecycle Implications for Remanufacturing Strategies". *Journal of Cleaner Production (submitted)*. Elsevier, 2007.

Parker, D. 2003. "Remanufacturing in the UK: A Significant Contributor to Sustainable Development?". Aylesbury, UK : Oakdene Hollins, 2003.

Prahalad C. K., Ramaswamy, V. 2004. *"Il Futuro della Competizione. Co-creare Valore Eccezionale per i Clienti"*. Roma : Il Sole24Ore, 2004. ISBN 8883635558.

Robotis, A., Bhattacharya, S. e Van Wassenhove, L. 2005. The effect of remanufacturing on procurement decisions for resellers in secondary markets. *European Journal of Operational Research*. 2005. Vol. 163, 3, p. 688-705.

Robotis, A., Bhattacharya, S. e Van Wassenhove, L.N. 2005. "The Effect of Remanufacturing on Procurement Decisions for Resellers in Secondary Markets". *European Journal of Operational Research* . Elsevier, 2005, 163, pp. 688–705.

Rogers, D.S. e Tibben Lemcke, R.S. 1999. "Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices". Pittsburgh, PA : Reverse Logistics Executive Council, 1999.

Seitz, M.A. 2007. "A Critical Assessment of Motives for Product Recovery: the Case of Engine Remanufacturing". *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, 2007, Vol. 15, 11-12, pp. 1147-1157 .

Seitz, M.A. e Peattie, K. 2004. "Meeting the Closed-Loop Challenge: The Case of Remanufacturing". *Californian Management Review*. University of California, 2004, Vol. 46, 2, pp. 74-89.

Seliger, G., Weinert, N. e Zettl, M. 2007. "Module Configurator for the Development of Products for Ease of Remanufacturing". *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*. Springer, 2007, part 2, pp. 47-52.

Shu, L.H. e Flowers, W.C. 1999. Application of a Design-for-Remanufacture Framework to the Selection of Product Life-Cycle Fastening and Joining Methods. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* . Elsevier, 1999, Vol. 15, pp. 179-190.

Souza, G.C., et al. 2006. Time value of commercial product returns. *Management Science*. 2006. Vol. 52, 8, p. 1200-1214.

Souza, G.C., Ketzenberg, M.E. e Guide, V.D.R. 2002. Capacitated remanufacturing with service level constraints. *Production and Operation Management*. 2002. Vol. 11, 2, p. 231-248.

Srivastava, S.K. e R.K., Srivastava. 2006. Managing product returns for reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2006. Vol. 36, 7, p. 524-546.

Srivastava, S.K. 2008. Network design for reverse logistics, , Vol.36, No.4, 2008, pp. 535-548. *Omega*. 2008. Vol. 36, 4, p. 535-548 .

Stampacchia, P. e Bifulco, F. 2005. "La Gestione dei Percorsi d'Innovazione". Torino : Giappichelli, 2005. ISBN 8834853733.

Steinhilper, R. 1994. "Design for Recycling and Remanufacturing of Mechatronic Electronic Products: Challenges, Solutions and Practical Examples from the European Viewpoint". *ASME Design for Manufacturability Conference*. Chicago : s.n., 1994. pp. 65–67.

—. 1998. "Remanufacturing: The Ultimate Form of Recycling". Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998.

—. 1998. "Remanufacturing: The Ultimate Form of Recycling". Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1998.

Subramani, A. e Dewhurst, P. 1991. "Automatic Generation of Product Disassembly Sequences". *Annals CIRP*. Elsevier, 1991, Vol. 40, 1, pp. 115-118.

Sundin, E. 2004. "Product and Process Design for Successful Remanufacturing". in *Production Systems Dissertation*. Linköping, Sweden : Department of Mechanical Engineering, Linköping University, 2004. 906.

Sundin, E., et al. 2008. "Remanufacturing of Products Used in Product Service System Offerings". *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*. Springer, 2008, 14, pp. 537-542.

Takahashi, K. Morikawa, K. e Takeda, D. 2007. Inventory control for a Markovian remanufacturing system with stochastic decomposition process. 2007. Vol. 108, p. 416-425.

Tang, O. e Grubbström, R. W. 2005. Considering stochastic lead times in a manufacturing/remanufacturing system with deterministic demands and returns. 2005. Vol. 93, p. 285-300 .

Taylor, M.B. 1986. "Cannibalism in Multibrand Firms". *Journal of Consumer Marketing*. Emerald, 1986, Vol. 3, 2, pp. 69–75.

Teunter, R. H. e Vlachos, D. 2002. On the necessity of a disposal option for returned items that can be remanufactured. 2002. Vol. 75, 3, p. 257-266.

Teunter, R.H., Van Deer Laan, E. e Inderfurth, K. 2000. How to set holding cost rates in average cost inventory models with reverse logistics? . *Omega*. 2000. 28, p. 409-415.

Thierry, M., et al. 1995. "Strategic Issues in Product Recovery Management". *Californian Management Review*. Graduate Schools of Business Administration, University of California, 1995, Vol. 37, 2, pp. 114-135.

Tibben-Lembke, R.S. e Rogers, D.S. 2002. "Differences Between Forward and Reverse Logistics in a Retail Environment". *Supply Chain Management: An International Journal*. Emerald, 2002, Vol. 7, 5, pp. 271-282.

Tseng, M. 1994. "Design for Mass Customization". *Annals CIRP*. Elsevier, 1994, Vol. 45, 1, pp. 153-156.

Ulrich, K.T. e Eppinger, S.B. 2000. "Product Design and Development". USA : McGraw-Hill, 2000. ISBN 007229647X..

Van Deer Laan, E. e Salomon, M. 1997. Production planning and inventory control with remanufacturing and disposal. *European Journal of Operational Research*. 1997. 102, p. 264-278.

Van Deer Laan, E.A., et al. 1999. Inventory control in hybrid systems with remanufacturing. *Management Science*. 1999. 5, p. 733-747.

van der Laan, E. A. e Teunter, R. H.,. 2006. Simple heuristics for push and pull remanufacturing policies. *European Journal of operational research* . 2006. Vol. 175, 2, p. 1084-1102 .

van der Laan, E. e Salomon, M. 1997. Production Planning and Inventory Control with Remanufacturing and Disposal. 1997. Vol. 102, p. 264-278.

van der Laan, E., Dekker, R. e Salomon, M. 1996b. Product remanufacturing and disposal: A numerical comparison of alternative control strategies. 1996b. Vol. 45, 1, p. 489-498.

van der Laan, E., Inderfurth, K. e Teunter, R. H. 2000. How to set Holding Cost Rates in Average Cost Inventory Models with Revers Logistics? 2000. Vol. 28, p. 409-415.

van der Laan, R., et al. 1996a. An (s, Q) inventory model with remanufacturing and disposal. 1996a. Vol. 46, p. 339-350 .

van der Lann, E., Salomon, M. e Dekker, R. 1999. Inventory Control in Hybrid Systems with Remanufacturing. 1999. Vol. 5, p. 733-747.

William, J., Shu, L. e Fenton, R.G. 2001. "Analysis of Remanufacturer Waste Streams Across Product Sectors". *Annals CIRP*. Elsevier, 2001, Vol. 50, 1, pp. 101-104.

Williams, A. 2005. "The Strategic Management of Product Service Systems". *Working Paper*. Cardiff, UK : The Centre For Business Relationships, Accountability, Sustainability and Society. Cardiff University, 2005. 28. ISBN 1904393608.

Xing, K., et al. 2007. "An Evaluation Model of Product Upgradability for Remanufacture". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Springer, 2007, Vol. 35, pp. 1-14.

Yokota, K. e Brough, D.R. 1992. "Assembly/Disassembly Sequence Planning". *Assembly Automation*. Emerald, 1992, Vol. 12, 3, pp. 31-38.

Zettl, M. e Seliger, G. 2007. "Modularity for Ease of Remanufacturing". [aut. libro] G. Seliger. *"Sustainability in Manufacturing"*. Berlin : Springer, 2007.

Zussman, E., Kriwet, A. e Seliger, G. 1994. "Disassembly Oriented Assessment Methodology to Support Design for Recycling". *Annals CIRP*. Elsevier, 1994, Vol. 43, 1, pp. 9-14.