

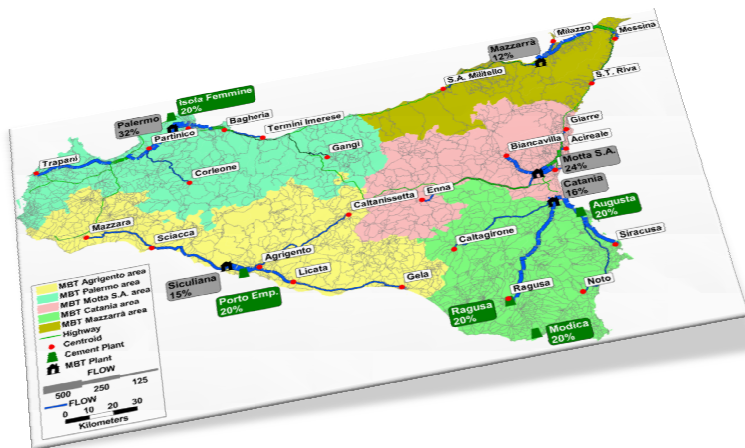


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DOTTORATO IN INGEGNERIA DELLE INFRASTRUTTURE
IDRAULICHE, SANITARIO AMBIENTALI E DEI TRASPORTI
XXV CICLO

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

INFOMOBILITÀ APPLICATA AI SISTEMI DI TRASPORTO A DOMANDA FLESSIBILE



ING. FABIO GIOVANNI NICOSIA

Relatore:
PROF. ING. SALVATORE LEONARDI

Coordinatore:
PROF. ING. SALVATORE CAFISO

Correlatori:
ING. GIUSEPPE INTURRI
ING. GIUSEPPE MANCINI

*alla mia famiglia
e al ricordo di nonna Lucia*

1 INTRODUZIONE.....	1
1.1 Premessa.....	1
1.2 Obiettivi.....	2
1.3 Organizzazione del lavoro.....	2
2 RIFERIMENTI NORMATIVI IN MATERIA DI GESTIONE DEI RIFIUTI 4	
2.1 Normativa internazionale.....	4
2.2 Normativa nazionale D.Lgs 152/2006.....	14
2.2.1 Decreti attuativi del Decreto Legislativo 3 Aprile 2006 n. 152.....	22
2.2.2 Successive modifiche al “Testo Unico Ambientale”.....	24
2.2.3 Il D.Lgs. 3 dicembre 2010, n.205.....	29
2.2.4 La normativa in materia di Discariche: Il Dgls 36/2003.....	31
2.3 Normativa regionale.....	35
2.3.1 La legge regionale n. 9 del 2009 e ss.mm.ii.....	41
2.3.2 Il Nuovo Piano.....	43
2.3.3 Le previsioni.....	44
2.3.4 Programma per la riduzione in Sicilia dei rifiuti urbani biodegradabili (RUB) da smaltire in discarica.....	46
3 IL RUOLO DEI TRASPORTI PER LA GESTIONE INTEGRATA DEI RIFIUTI 49	
3.1 Politiche e strumenti di prevenzione.....	49
3.1.1 Riduzione: perché prevenire la produzione dei rifiuti.....	50
3.1.2 Restituzione.....	53
3.1.3 Raccolta differenziata e consegna differenziata.....	59
3.2 Le tecnologie di potenziale interesse.....	59
3.2.1 Il pretrattamento del Rifiuto Urbano Residuo.....	60
3.2.2 Il recupero energetico.....	62
3.2.3 Smaltimento in discarica.....	65
3.3 Applicazione della tariffa-recupero delle somme.....	66
4 L’OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE INTEGRATA DEI RIFIUTI NELLA LETTERATURA TECNICA..... 68	
4.1 La pianificazione strategica del trasporto dei rifiuti su scala regionale.....	70
4.2 Il problema del trasporto dei rifiuti su scala urbana.....	79
4.3 Sistemi di trasporto intelligenti.....	87
4.3.1 La telematica applicata ai trasporti: “infomobilità” e sistemi di trasporto intelligenti.....	87
4.3.2 Elementi costitutivi della telematica per i trasporti e benefici attesi dall’attuazione dell’architettura.....	89
4.3.3 Applicazioni e benefici derivanti dall’integrazione dei sistemi telematici per i trasporti.....	89
4.3.4 Gli ITS a supporto dei Sistemi di Trasporto a Domanda Flessibile.....	90
4.3.5 L’applicazione degli ITS nel servizio di raccolta dei RSU.....	91
5 MODELLAZIONE MATEMATICA DEL PROBLEMA DEL TRASPORTO DEI RIFIUTI..... 98	
5.1 Premessa: analogia merce-rifiuti.....	98

5.2	La programmazione lineare	99
5.3	Modelli di ottimizzazione su rete	106
5.4	Formulazione del Minimum Cost Flow Problem	107
5.5	Formulazione del Facility Location Problem	109
5.6	Formulazione del <i>Vehicle Routing Problem</i>	110
5.7	Strumenti software per la risoluzione di problemi logistici.....	116
5.7.1	Sistemi informativi territoriali	116
5.7.2	Importanza dell'uso dei GIS nel settore trasporti	118
5.7.3	TransCad: generalità sul software	122
6	UN MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE PER LA GESTIONE “ON DEMAND” DELLA RACCOLTA DEI RIFIUTI.....	125
6.1	Importanza della raccolta dell'organico nella raccolta differenziata	125
6.1.1	La frazione Organica dei rifiuti urbani	126
6.1.2	I modelli di raccolta italiani della frazione organica all'interno degli approcci europei	126
6.1.3	La Gestione e l'organizzazione dei sistemi di raccolta dell'umido	130
6.2	Materiali e metodologia adottati.....	132
6.2.1	Attrezzature utilizzate per la raccolta della frazione organica dei rifiuti.....	132
6.2.2	Definizione del costo unitario di trasporto	134
6.2.3	Architettura della metodologia ipotizzata.....	137
6.3	Risultati	139
7	UN MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE DEI FLUSSI DI TRASPORTO DEI RIFIUTI SU SCALA TERRITORIALE REGIONALE: IL CASO DELLA SICILIA	149
7.1	Ipotesi di gestione integrata dei rifiuti in Sicilia.....	150
7.2	Metodologia applicata	161
7.2.1	Metodologia per la valutazione degli impatti sull'ambiente: <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	165
7.3	Risultati	172
7.3.1	Ottimizzazione dei flussi e attribuzione dei costi di trasporto	172
7.3.2	Valutazione degli impatti sulla rete stradale siciliana.....	177
7.3.3	Valutazioni degli impatti sull'ambiente.....	179
8	CONCLUSIONI.....	194
	BIBLIOGRAFIA	197
	SITOGRAFIA.....	199

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Vuoti a rendere in vetro	54
Figura 2: Punto vendita di detersivo sfuso “alla spina”	55
Figura 3: Furgone appositamente attrezzato con contenitori per la vendita sfusa dei prodotti per la casa.....	56
Figura 4: Cassette ribaltabili per il settore ortofrutticolo	57
Figura 5: Stoviglie riutilizzabile in ceramica	58
Figura 6: Rappresentazione dello territorio analizzato nello studio. (Ni-Bin Chang and Y. T. Lin,1997).....	72
Figura 7: Esempio di una tabella che mostra i risultati ottenuti da uno scenario analizzato. (Ni-Bin Chang and Y. T. Lin,1997)	73
Figura 8: Flussi interregionali di rifiuti industriali. (Kagawa et al.,2007).....	75
Figura 9: Struttura concettuale del modello utilizzato per la gestione e l’ottimizzazione della raccolta dei rifiuti. (Nuortio et al., 2006).....	82
Figura 10: Rappresentazione dell’area studiata. (McLeod et al., 2007).....	84
Figura 11: Rappresentazione del risparmio di tempo dopo aver effettuato lo studio. (McLeod et al., 2007).....	85
Figura 12: Risultati ottenuti dallo studio in termini di risparmio di tempo. (McLeod et al., 2007).	85
Figura 13: Schema delle tematiche ed attività coinvolte nella "Telematica per i Trasporti" (Quaderni PGT, 1999).....	88
Figura 14: Struttura della Centrale Operativa per la gestione ed elaborazione dei dati	91
Figura 15: Architettura del sistema di gestione e monitoraggio dei mezzi e dei contenitori adibiti alla raccolta dei rifiuti solidi urbani.....	93
Figura 16: Interfaccia utente GUI per il sistema di monitoraggio dei contenitori.....	94
Figura 17: Prototipo di contenitore e interfaccia a LED indicante lo stato delle operazioni.....	96
Figura 18: Percorso ottimizzato del mezzo su supporto GIS	97
Figura 19: Analogia merce - rifiuto.....	98
Figura 20: Rappresentazione grafica dei parametri.....	104
Figura 21: Esempio di grafo.....	106
Figura 22: Esempio di rete per la procedura	109
Figura 23: Schema di VRP.....	112
Figura 24: Schema di un VRPTW.....	112
Figura 25: Schema di un VRPB	113
Figura 26: Schema di un VRPDP.....	114
Figura 27: Schema di un VRPDP.....	114
Figura 28: Schema generale di sistemi informativi territoriali.....	116
Figura 29: Interfaccia grafica ArcGIS	120
Figura 30: Interfaccia grafica Geomedia.....	121
Figura 31: Le tipologie di rifiuti trattati in impianti di compostaggio, anno 2010 (Fonte ISPRA, Rapporto rifiuti, 2012)	130

Figura 32: Rottura meccanica e degradativa in carta e materiale biodegradabile	133
Figura 33: Rifiuto urbano biodegradabile di alta qualità.....	134
Figura 34: Prototipo del contenitore per la raccolta dell'umido domestico	134
Figura 35: Calcolo del costo dovuto al personale	135
Figura 36: Informazioni relative alle utenze commerciali da servire.....	137
Figura 37: Schema di architettura della piattaforma telematica di acquisizione, gestione ed elaborazione dati.....	138
Figura 38: Percentuale di conferimento delle singole frazioni merceologiche rispetto alle altre	139
Figura 39: Rifiuto organico e percolato raccolto durante la campagna di sperimentazione.....	141
Figura 40: Punti della rete corrispondenti alle utenze da servire	143
Figura 41: Screen shots relativi alle fasi di caricamento dei dati all'interno del modello	144
Figura 42: Percorso di raccolta ottimizzato relativo allo scenario 1 con frequenza standard.....	145
Figura 43: Percorso di raccolta ottimizzato per lo scenario 2 a frequenza ridotta.....	145
Figura 44: Confronto tra i tempi di raccolta nei due scenari.....	147
Figura 45: Confronto tra le distanze percorse nei due scenari	147
Figura 46: Confronto tra i costi di raccolta nei due scenari	148
Figura 47: RSU prodotti dai centroidi presi in esame	152
Figura 48: Localizzazione dei quattro inceneritori e aree di competenza	157
Figura 49: Localizzazione degli impianti di TMB e dei cementifici.....	158
Figura 50: Localizzazione degli impianti di TMB, dei cementifici e dei gassificatori.....	160
Figura 51: Localizzazione dei tre termovalorizzatori e aree geografiche di competenza	161
Figura 52: Zonizzazione del territorio oggetto di studio.....	162
Figura 53: Procedura per l'applicazione del modello "Facility Location" sulla piattaforma TransCad.....	163
Figura 54: Procedura per l'applicazione del modello "Minimum Cost Flow" sulla piattaforma TransCad.....	163
Figura 55: Rete stradale siciliana	165
Figura 56: Scenari potenziali per la gestione dei rifiuti in Sicilia e relativi costi di trasporto	175
Figura 57: Siti potenziali e siti idonei (in rosso) per la realizzazione di tre termovalorizzatori in Sicilia	176
Figura 58: Sezioni della rete stradale siciliana prese in esame per la valutazione dell'impatto degli scenari	177
Figura 59: Esempi di flussi di rifiuti in corrispondenza delle tre sezioni stradali esaminate	179
Figura 60: Scenario 1- valori in Ecopunti per ciascun centroide	184
Figura 61: Scenario 3 – fase A- valori in Ecopunti per ciascun centroide.	186
Figura 62: Scenario 2 – fase B - valori in Ecopunti per ciascun centroide.	188

Figura 63: Scenario 2 - valori in Ecopunti per ciascun centroide. 189

Figura 64: Confronto scenari di gestione- valori percentuali per ciascuna
delle categorie di impatto..... 191

Figura 65: Confronto scenari di gestione- valori in Ecopunti per ciascuna
delle categorie di impatto..... 192

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Codici CER dei rifiuti da imballaggio	7
Tabella 2: Obiettivi Direttiva 2004/12/CE da raggiungere per gli Stati membri.....	7
Tabella 3: Classificazione dei rifiuti in base alla loro origine (D. Lgs. 152/2006).....	16
Tabella 4: Classificazione dei rifiuti in base alla loro pericolosità (D. Lgs. 152/2006).....	17
Tabella 5: Obiettivi di recupero e di riciclaggio (art. 220) come da Allegato E (D. Lgs. 152/2006).....	19
Tabella 6: Tipologie di rifiuti biodegradabili.	33
Tabella 7: Categorie merceologiche considerate nel Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia.....	48
Tabella 8: Azioni di prevenzione nel ciclo di vita di un bene/servizio.....	51
Tabella 9: Composizione percentuale del CSS.....	63
Tabella 10: Dati trovati dopo le elaborazioni eseguite. (Kagawa et al,2007).....	76
Tabella 11: Descrizione dei rifiuti trattati nelle varie regioni. (Kagawa et al,2007).....	77
Tabella 12: Analogia merce – rifiuto nel processo di produzione e commercializzazione	98
Tabella 13: Parametri necessari.....	103
Tabella 14: Confronto dei vari sistemi di raccolta della frazione umida.....	129
Tabella 15: Ruolo della RD sul rifiuto organico.	129
Tabella 16: Costo per ton-km di un mini compattatore a due assi.....	136
Tabella 17: Produzioni medie settimanali di rifiuto organico e liquido percolato per ogni famiglia.....	139
Tabella 18: Percentuale di conferimento delle frazioni merceologiche sul totale degli utenti monitorati.....	140
Tabella 19: Scenari ipotizzati per la raccolta del rifiuto organico presso le utenze commerciali.....	142
Tabella 20: Informazioni relative ai percorsi di raccolta restituite dal modello.....	146
Tabella 21: Confronto tra tempi, distanze e costi di raccolta per i due scenari ipotizzati.....	146
Tabella 22: Elencazione dei centroidi con i corrispettivi dati associati.....	151
Tabella 23: Bilancio rifiuti recuperati e in discarica-Piccoli e Medi centri.....	153
Tabella 24: Bilancio rifiuti recuperati e in discarica- Grandi centri.	154
Tabella 25: Bilancio globale rifiuti recuperati e conferiti in discarica	155
Tabella 26: Discariche in esercizio al 2011 (fonte: Sezione del Catasto Rifiuti Sicilia).	156
Tabella 27: Impianti di Trattamento Meccanico Biologico e cementifici	158
Tabella 28: Costo per ton-km di un compattatore a quattro assi.....	164

Tabella 29: Confronto tra il numero di compattatori/giorno dovuti al trasporto di rifiuti nelle tre sezioni critiche delle rete stradale siciliana.....	177
Tabella 30: Scenario 1- Percorso dai centroidi alle discariche.....	180
Tabella 31: Scenario 3 – fase A – Percorso dai centroidi agli impianti di TMB.	181
Tabella 32: Scenario 3 – fase B – Percorso dagli impianti di TMB ai cementifici.....	181
Tabella 33: Confronto Scenario 1-3 tra costi di trasporto e impatti calcolati col Ecoindicator99 e impatti calcolati col ReCipe 2008.	193

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare innanzitutto il mio relatore Prof. Salvatore Leonardi, per il supporto datomi nello sviluppo dell'attività di ricerca.

Ringrazio sentitamente anche gli ing. Giuseppe Mancini e Giuseppe Inturri: il loro sostegno e la loro guida sapiente sono stati fondamentali per il compimento del lavoro di ricerca.

Un grazie speciale alla mia famiglia che mi ha permesso di intraprendere questo percorso e senza la quale non sarei mai arrivato dove sono ora.

Ringrazio Laura che mi è stata sempre vicina e ha avuto la pazienza di ascoltarmi e consigliarmi tutte le volte che ne sentivo il bisogno.

Fabio

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Il settore di produzione di beni e servizi è sempre alla continua ricerca di sistemi che possano ottimizzare i loro processi di produzione, con l'obiettivo primario di ridurre i costi sostenuti. La crisi economica, che negli ultimi anni ha colpito l'Europa in molti settori economico-produttivi, ha accentuato ulteriormente l'esigenza di ricercare tutte quelle procedure e/o metodologie che possano permettere un abbattimento delle spese, mantenendo gli stessi standard qualitativi e quantitativi.

Tra i settori maggiormente in crisi, soprattutto nelle regioni meridionali d'Italia, c'è quello della gestione integrata dei rifiuti solidi urbani.

La complessità del problema di gestione dei rifiuti ha suggerito ai decisori di munirsi di strumenti che possano aiutare le loro scelte. La messa a punto di sistemi efficienti di gestione dei rifiuti costituisce, da tempo, uno degli obiettivi prioritari per quei paesi industrializzati che ancora non dispongono di una gestione integrata ottimale e/o di un adeguato sistema di raccolta differenziata.

I problemi tipici che si riscontrano in questo campo possono essere inglobati in due macro-categorie:

- la raccolta dei rifiuti su scala territoriale locale, che ha come obiettivo principale quello di ottimizzare il servizio al fine di minimizzare i costi di trasporto all'interno dei centri urbani;
- il trasporto dei rifiuti su scala territoriale regionale, dai centri di produzione locali agli impianti di trattamento/recupero/smaltimento quello su scala regionale, che, oltre ad avere come obiettivo quello di minimizzare i costi di trasporto, ha lo scopo di localizzare ed individuare i siti ottimali per la realizzazione di nuovi impianti di trattamento e smaltimento dei rifiuti.

Il problema del trasporto dei rifiuti solidi urbani dai luoghi di produzione (città) ai luoghi di smaltimento (impianti di trattamento) è una fase del sistema di gestione solitamente trascurata. Questo perché, a torto, considerata poco impattante rispetto alle altre fasi di trattamento. Il presente lavoro, invece, ritenuta l'importanza del problema, si propone di determinare i flussi e i costi del trasporto di rifiuti all'interno di un territorio ed in più di dimostrare come una corretta gestione del conferimento del rifiuto nei vari impianti di trattamento/recupero/smaltimento, possa contribuire in modo significativo al miglioramento del processo di gestione dei rifiuti e ad un concreto risparmio di risorse economiche ed ambientali.

Un notevole contributo in tal senso è dato dai cosiddetti Sistemi di Trasporto Intelligenti (*Intelligent Transportation System, ITS*), che grazie a tecnologie telematiche innovative (*Information and Communication Technologies, ICT*) permette di offrire un servizio flessibile ad una domanda anch'essa flessibile a causa della variabilità giornaliera della produzione di rifiuti solidi urbani, nonché a tutta una serie di problematiche e criticità dovute a fattori non prevedibili.

L'attività di ricerca è stata, pertanto, caratterizzata da due fasi:

1. lo sviluppo di una metodologia “on demand” per l’ottimizzazione del servizio di raccolta della frazione organica (per utenze non domestiche) all’interno dei centri urbani;
2. l’analisi e la redistribuzione dei flussi dei rifiuti prodotti in Sicilia, valutando l’aspetto economico-trasportistico e l’impatto dovuto al trasporto sulla rete stradale regionale e sull’ambiente (tramite una procedura LCA), ipotizzando diversi scenari di gestione.

1.2 Obiettivi

Lo scopo di questo lavoro è quello di contribuire alla messa a punto di uno strumento di supporto alle decisioni sulla gestione dei rifiuti, sia in ambito urbano che in ambito regionale.

In particolare si vuole fornire un criterio per determinare un’ottimizzazione della fase di raccolta dei rifiuti all’interno dei centri abitati. Attraverso l’utilizzo di modelli di risoluzione del *Vehicle Routing Problem with Time Window* su ambiente GIS e l’integrazione di particolari contenitori aerati con sistemi ICT, si possono ottimizzare i percorsi e i tempi di raccolta, fornendo un servizio “on demand” dedicato alle utenze commerciali che producono rifiuto organico, una delle frazioni più problematiche da gestire.

Nell’ottica dell’ottimizzazione della gestione integrata dei rifiuti solidi urbani si vuole, inoltre, proporre una metodologia che consenta di poter determinare i flussi e i costi di trasporto dei rifiuti in vari scenari nella regione Sicilia. Nello studio si è supposto di avere 26 centroidi, rappresentativi della produzione di rifiuti di altrettante macro-aree omogenee, e un numero variabile di impianti dislocati sul territorio, in funzione degli scenari ipotizzati.

L’ottimizzazione del trasporto può consentire una corretta gestione degli impianti ed al tempo stesso una ottimizzazione delle risorse spese per operare tale trasporto. Questo entra nell’ottica più ampia dell’LCA (*life cycle assessment*) cioè nel rappresentare i risultati ottenuti in termini di potenziali impatti ambientali e allo stesso tempo assicurare lo smaltimento e il recupero in luoghi prossimi a quelli di produzione al fine di favorire la riduzione della movimentazione dei rifiuti e la minimizzazione dei costi di trasporto.

1.3 Organizzazione del lavoro

L’intero lavoro è stato svolto secondo le seguenti fasi. Si è dapprima effettuata un’analisi della normativa comunitaria, nazionale e regionale in materia di gestione di rifiuti per disporre di un quadro completo della legislazione vigente (Capitolo 2).

Dopo avere inquadrato il problema della gestione integrata dei rifiuti a carattere generale (Capitolo 3), è stata eseguita un’accurata ricerca bibliografica per approfondire lo stato dell’arte delle metodologie di ottimizzazione del sistema di gestione integrata dei rifiuti su scala territoriale locale e regionale nella letteratura tecnica (Capitolo 4), nonché i campi di applicazione e le potenzialità dei “Sistemi di Trasporto Intelligenti”. Successivamente è stata trattata la teoria che sta alla base del modello creato (Capitolo 5).

Si sono quindi applicati i modelli ai due livelli territoriali considerati, ovvero l'ottimizzazione della gestione "*on demand*" per la raccolta del rifiuto organico da utenze commerciali in ambito urbano (Capitolo 6) e l'ottimizzazione dei flussi di trasporto dei rifiuti nella regione Sicilia nell'ipotesi di cinque differenti scenari di gestione integrata (Capitolo 7).

Infine nel capitolo conclusivo sono sintetizzati i risultati ottenuti e riportate alcune proposte scaturenti dal lavoro svolto al fine di integrarle alla pianificazione locale e regionale (Capitolo 8).

2 RIFERIMENTI NORMATIVI IN MATERIA DI GESTIONE DEI RIFIUTI

2.1 Normativa internazionale

Il quadro normativo di riferimento, definito a livello comunitario in materia di gestione dei rifiuti, ha avuto negli ultimi venti anni una progressiva evoluzione basata su un sistema di regole chiave ben definito:

- fissare i criteri di definizione della pericolosità dei rifiuti;
- stabilire un sistema obbligatorio di registrazione dei movimenti di rifiuti;
- determinare le responsabilità delle varie fasi della gestione dei rifiuti;
- definire un sistema autorizzativo per la realizzazione degli impianti e delle fasi di gestione dei rifiuti;
- controllare il flusso trans-frontaliero.

In particolare le strategie d'intervento nella gestione dei rifiuti individuate negli anni 90⁷ possono essere riferite ad alcune direttive:

- Direttive quadro sui rifiuti e rifiuti pericolosi:
 - 91/156/CE sui rifiuti¹;
 - 91/689/CE sui rifiuti pericolosi²;
- Direttiva categoria speciale di rifiuti:
 - 94/62/CE sugli imballaggi e rifiuti da imballaggio³;
- Direttiva sul controllo integrato:
 - 96/61/CE IPPC⁴ sulla prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento.

Storicamente, il primo atto legislativo comunitario riguardante i rifiuti, è stata la Direttiva 75/442/CE e s.m.i.⁵. La Direttiva è stata sostanzialmente modificata dalla successiva direttiva 91/156/CE, che recepisce gli orientamenti introdotti dal V Programma d'Azione⁶, varato il 15/12/1992 per il periodo 1993/1997 e che fa fede ai seguenti principi:

- integrazione delle politiche ambientali con le regole del mercato;
- promozione dell'innovazione tecnologica e della ricerca;
- promozione dell'utilizzo di strumenti fiscali e finanziari;
- promozione della cooperazione volontaria tra la pubblica amministrazione e le imprese.

¹ Direttiva del Consiglio del 18 marzo 1991 che modifica la direttiva 75/442/CE (G.U.U.E n. L 78 del 26 marzo 1991).

² Direttiva del Consiglio del 12 dicembre 1991 (G.U.U.E. n. L 377 del 31/12/1991).

³ Direttiva del Consiglio del 20 dicembre 1994 (G.U.U.E. n. L 365 del 31/12/1994).

⁴ Direttiva del Consiglio del 30 ottobre 1996 (G.U.U.E. n. L 257 del 10/10/1996).

⁵ Direttiva del Consiglio del 16 giugno 1975 (G.U.U.E. n. L 194 del 25/07/1975), modificata dalla direttiva 91/156/CE; direttiva 91/692/CE; decisione 96/350/CE; regolamento (CE) n. 1882/2003.

⁶ V programma comunitario d'azione a favore dell'ambiente Verso uno sviluppo sostenibile.

Con l'affermazione del concetto di uno "sviluppo sostenibile" nel campo della gestione dei rifiuti sono state quindi introdotte alcune novità:

- la promozione della prevenzione e la minimizzazione della produzione dei rifiuti;
- la massimizzazione del riciclaggio, del recupero, e la promozione di sistemi ambientalmente compatibili per il trattamento e lo smaltimento di rifiuti.

La direttiva 91/156/CE in particolare individua alcune strategie di particolare rilevanza:

- la necessità di una terminologia comune ed una definizione dei rifiuti;
- la necessità di dare la priorità alla prevenzione ovvero la minimizzazione della produzione dei rifiuti ed al recupero di materia ed energia rispetto allo smaltimento;
- l'introduzione di un regime meno rigido e vincolante per le operazioni di recupero, rispetto allo smaltimento.

Questa direttiva è stata inoltre supportata dalla Decisione 2000/532/CE e s.m.i.,⁷ che ha introdotto il nuovo Catalogo Europeo dei Rifiuti (CER). Il nuovo catalogo, entrato in vigore l'1 gennaio 2002, ha introdotto dei nuovi codici chiamati "codici specchio" o "voci speculari", che classificano come pericolosi solo i rifiuti che contengono sostanze pericolose superiori a determinate concentrazioni.

Le voci speculari sono quei rifiuti che nell'elenco figurano due volte e hanno cioè due voci: una riferita al rifiuto pericoloso nella cui descrizione si fa riferimento specifico o generico a sostanze pericolose, l'altra al rifiuto non pericoloso.

Ecco quindi che la discriminazione tra rifiuto pericoloso e non pericoloso richiede una determinazione analitica, poiché l'identificazione dei rifiuti pericolosi è improntata sul criterio del contenuto di sostanze pericolose.

Il CER è suddiviso in classi, ciascuna delle quali rappresenta sottoclassi, a loro volta suddivise in categorie, le quali individuano le diverse tipologie di rifiuti (

⁷ Decisione della Commissione, del 3 maggio 2000 (G.U.U.E. n. L 226 del 06/09/2000), che sostituisce la decisione 94/3/CE che istituisce un elenco di rifiuti conformemente all'articolo 1, lettera a), della direttiva 75/442/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti e la decisione 94/904/CE del Consiglio che istituisce un elenco di rifiuti pericolosi ai sensi dell'articolo 1, paragrafo 4, della direttiva 91/689/CEE del Consiglio relativa ai rifiuti pericolosi. Successivamente modificata dalle seguenti decisioni: decisione 2001/118/CE (G.U.U.E. n. L 47 del 16/02/2001); decisione 2001/119/CE; (G.U.U.E. n. L 47 del 16/02/2001); decisione 2001/573/CE (G.U.U.E. n. L 203 del 28/07/2001).

Tabella 1). Le classi sono venti, tutte definite da codici a due cifre (dal codice 01 al codice 20), i sottocapitoli sono identificati da codici a quattro cifre (esempio 15 01 “imballaggi”), mentre le categorie hanno codici a sei cifre (esempio 15 01 01 “imballaggi di carta e cartone”).

Tabella 1: Codici CER dei rifiuti da imballaggio

	CODICE	DESCRIZIONE
CLASSE	15	RIFIUTI DI IMBALLAGGIO, ASSORBENTI, STRACCI, MATERIALI FILTRANTI E INDUMENTI PROTETTIVI (NON SPECIFICATI ALTRIMENTI)
SOTTOCLASSE	15 01	Imballaggi (compresi i rifiuti urbani di imballaggio oggetto di raccolta differenziata);
CATEGORIA	15 01 01 15 01 02 15 01 03 15 01 04 15 01 05 15 01 06 15 01 07 15 01 09 15 01 10* 15 01 11*	imballaggi in carta e cartone; imballaggi in plastica; imballaggi in legno; imballaggi metallici; imballaggi in materiali compositi; imballaggi in materiali misti; imballaggi in vetro; imballaggi in materia tessile; imballaggi contenenti residui di sostanze pericolose o contaminati da tali sostanze; imballaggi metallici contenenti matrici solide porose pericolose (ad esempio amianto), compresi i contenitori a pressione vuoti;
SOTTOCLASSE	15 02	Assorbenti, materiali filtranti, stracci e indumenti protettivi;
CATEGORIA	15 02 02* 15 02 03	assorbenti, materiali filtranti (inclusi filtri dell'olio non specificati altrimenti), stracci e indumenti protettivi, contaminati da sostanze pericolose; assorbenti, materiali filtranti, stracci e indumenti protettivi, diversi da quelli di cui alla voce 15 02 02;

I rifiuti pericolosi a livello europeo sono regolamentati dalla Direttiva 91/689/CE. Grazie al nuovo catalogo europeo dei rifiuti (CER), l'identificazione è fatta non solo riferendosi all'origine del rifiuto, ma anche al contenuto di sostanze pericolose dello stesso, e gli stessi sono identificati con un asterisco "*" alla fine dei numeri del codice.

La Direttiva 94/62/CE⁸ riguarda gli imballaggi e i rifiuti da imballaggio ed ha lo scopo di armonizzare le misure nazionali in materia di gestione degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio, per prevenirne e ridurne l'impatto sull'ambiente ed assicurare così un elevato livello di tutela dell'ambiente. La normativa prevede che gli Stati Membri adottino le misure necessarie per realizzare obiettivi di recupero e riciclaggio, obiettivi modificati dalla Direttiva 2004/12/CE (Tabella 2).

Dall'articolo 6, comma 1 della Direttiva 2004/12/CE: "per conformarsi agli obiettivi della presente direttiva, gli Stati membri adottano le misure necessarie per realizzare i seguenti obiettivi su tutto il loro territorio":

Tabella 2: Obiettivi Direttiva 2004/12/CE da raggiungere per gli Stati membri

Entro il 30 giugno 2001	almeno il 50% e fino al 65% in peso dei rifiuti di imballaggio sarà recuperato o sarà incenerito in impianti di incenerimento rifiuti con recupero di energia.
Entro il 31 dicembre 2008	almeno il 60% in peso dei rifiuti di imballaggio sarà recuperato o sarà incenerito in impianti di incenerimento rifiuti con recupero di energia.

⁸ Poi modificata dalle direttive: 2004/12/CE del 18 febbraio 2004 (G.U.U.E. n. L 47 del 18/02/2004); 2005/20/CE del 05 aprile 2005 (G.U.U.E. n. L 70 del 16/03/2005).

Entro il 30 giugno 2001	sarà riciclato almeno il 25 % e fino al 45 % in peso di tutti i materiali di imballaggio contenuti nei rifiuti di imballaggio, con un minimo del 15 % in peso per ciascun materiale di imballaggio
Entro il 31 dicembre 2008	sarà riciclato almeno il 55% e fino all'80% in peso dei rifiuti di imballaggio
Entro il 31 dicembre 2008 saranno raggiunto i seguenti obiettivi minimi di riciclaggio per i materiali contenuti nei rifiuti di imballaggio:	<ul style="list-style-type: none"> i) 60% in peso per il vetro; ii) 60 % in peso per la carta e il cartone; iii) 50 % in peso per i metalli; iv) 22,5 % in peso per la plastica, tenuto conto esclusivamente dei materiali riciclati sotto forma di plastica; v) 15% in peso per il legno

Infine la Direttiva 96/61/CE IPPC (*Integrated Pollution and Prevention Control*) ha come oggetto la prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento.

Essa, pertanto, prevede un approccio integrato a 360° su tutte le componenti ambientali (acqua, aria, suolo, rumore, ecc.) in modo da conseguire una riduzione dell'inquinamento prodotto da determinati impianti ed un livello elevato di protezione dell'ambiente nel suo complesso applicando le "Best Available Techniques" (BAT).

La normativa IPPC trova la sua applicazione in diversi comparti industriali, andando ad interessare al loro interno il tema della prevenzione dei rifiuti o della loro corretta gestione. Rientrano, inoltre, nell'ambito IPPC anche alcune tipologie di attività di recupero e smaltimento rifiuti.

A queste Direttive quadro si sono accompagnati provvedimenti mirati alla regolamentazione di particolari attività di gestione dei rifiuti, quali:

- Direttiva 2000/76/CE⁹ *in materia di incenerimento e coincenerimento di rifiuti pericolosi e non pericolosi*, che definisce regole molto rigorose per l'esecuzione di queste attività.

Direttiva 1999/31/CE¹⁰ *in materia di smaltimento di rifiuti in discarica*; la Direttiva definisce i requisiti operativi e tecnici per tale attività di smaltimento, ponendo particolare attenzione alla corretta conduzione sia in fase di gestione operativa sia in fase di gestione post-chiusura; vengono inoltre individuati limiti specifici allo smaltimento in discarica di rifiuti urbani biodegradabili.

Sono inoltre state emanate Direttive finalizzate alla corretta gestione di specifiche tipologie di rifiuti, quali:

- Direttiva 2000/53/CE e s.m.i.¹¹, norma, in particolare, il recupero *e il riciclaggio dei materiali provenienti da veicoli a fine vita*. Anche in questo caso è prevista una gerarchia nella gestione di tali rifiuti che vede al primo posto la prevenzione e in successione il reimpiego, il riciclo, il recupero e solo alla fine lo smaltimento.

⁹ Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 4 dicembre 2000 (G.U.U.E. n. L 332 del 28/12/2000).

¹⁰ Direttiva del Consiglio, del 26 aprile 1999 (G.U.U.E. n. L 182 del 16/07/1999).

¹¹ Direttiva del 18 settembre 2000 (G.U.U.E. n. L 269 del 21/10/2000), modificata dalla direttiva 2002/525/CE dell'01 gennaio 2005 (G.U.U.E. n. 170 del 29/06/2005).

- Direttiva 2002/96/CE e s.m.i.¹², per quanto riguarda rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE).
- Direttiva 2006/66/CE¹³ relativa a pile e accumulatori e a rifiuti di pile e accumulatori che abroga la direttiva 91/157/CEE.

La costante e progressiva tendenza all'aumento della produzione di rifiuti, quale sintomo del progresso economico e dell'aumento dei consumi, rilevata in tutti gli Stati membri, ha consentito alla Commissione ed al Consiglio europeo di valutare gli effetti dell'applicazione della legislazione comunitaria e di individuare le esigenze, non solo di carattere normativo ancora attuali, per determinare gli interventi finalizzati a dare concreta attuazione alla gerarchia comunitaria in materia di gestione dei rifiuti.

Da questa impostazione è scaturita la decisione della Commissione n. 1600/2002¹⁴, che istituisce il VI Programma d'Azione per l'ambiente¹⁵: “*Verso una strategia tematica di prevenzione e riciclo dei rifiuti*”.

I principi della corretta gestione dei rifiuti, basati sulla prevenzione e sul riciclo dei rifiuti quali interventi prioritari, già contenuti, in parte, nel V Programma d'azione Comunitario (1993) sono sanciti in maniera definitiva nel VI Programma d'azione per l'ambiente. La Decisione n. 1600/2002 stabilisce i principali obiettivi che l'Unione europea si propone di perseguire per un periodo di dieci anni a decorrere dal 22 luglio 2002.

Gli obiettivi corrispondono alle principali priorità ambientali che la Comunità deve e dovrà affrontare nei settori dei cambiamenti climatici, della natura e biodiversità, dell'ambiente e salute e qualità della vita e, infine, delle risorse naturali e dei rifiuti.

I principi su cui si fonda il programma sono i seguenti:

- principio “chi inquina paga”;
- principio di precauzione;
- principio dell'azione preventiva;
- principio di riduzione dell'inquinamento alla fonte.

Atti, quindi, a garantire una migliore efficienza delle risorse e una migliore gestione delle risorse e dei rifiuti ai fini del passaggio a modelli di produzione e consumo più sostenibili, dissociando pertanto l'impiego delle risorse e la produzione dei rifiuti dal tasso di crescita economica, e cercando di garantire che il consumo di risorse rinnovabili e non rinnovabili non superi la capacità di carico dell'ambiente.

Si ricorda, anche la Direttiva 2006/12/CE¹⁶ *relativa ai rifiuti*, approvata dall'Unione Europea il 5 aprile 2006, in vigore dal 17 maggio 2006.

¹² Direttiva del Consiglio del 27 gennaio 2002 (G.U.U.E. n. L 37 del 13/02/2003) modificata dalla direttiva 2003/108/CE dell'8 dicembre 2003 (G.U.U.E. n. L 345/106 del 31/12/2003).

¹³ Direttiva del Consiglio del 6 settembre 2006 (G.U.U.E. n. L 266 del 26/09/2006).

¹⁴ Decisione del Parlamento e del Consiglio Europeo del 22 luglio 2002 (G.U.U.E. n. L 242/1 del 10/09/2002).

¹⁵ ATTO: comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento europeo, al Comitato economico e sociale e al Comitato delle regioni, del 24 gennaio 2001, sul Sesto programma di azione per l'ambiente della Comunità europea “Ambiente 2010: il nostro futuro, la nostra scelta” [COM (2001) 31].

Tale direttiva, introdotta al fine di semplificare il panorama normativo comunitario in materia di rifiuti, va ad abrogare la precedente direttiva 75/442/CEE, più volte modificata¹⁷.

Nelle premesse la direttiva ribadisce, innanzitutto, il principio che ogni regolamento in materia di gestione dei rifiuti deve essenzialmente mirare alla protezione della salute umana e dell'ambiente contro gli effetti nocivi della raccolta, del trasporto, del trattamento, dell'ammasso e del deposito dei rifiuti.

La Direttiva all'articolo 1 da alcune importanti definizioni, quali:

- a) **«rifiuto»**: “qualsiasi sostanza od oggetto che rientri nelle categorie riportate nell'allegato I e di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi”;
- b) **«produttore»**: “la persona la cui attività ha prodotto rifiuti («produttore iniziale») e/o la persona che ha effettuato operazioni di pretrattamento, di miscuglio o altre operazioni che hanno mutato la natura o la composizione di detti rifiuti”;
- c) **«detentore»**: “il produttore dei rifiuti o la persona fisica o giuridica che li detiene”;
- d) **«gestione»**: “la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento dei rifiuti, compreso il controllo di queste operazioni nonché il controllo delle discariche dopo la loro chiusura”;
- e) **«smaltimento»**: “tutte le operazioni previste nell'allegato II A”;
- f) **«recupero»**: “tutte le operazioni previste nell'allegato II B”;
- g) **«raccolta»**: “l'operazione di prelievo, di cernita e/o di raggruppamento dei rifiuti per il loro trasporto”.

Sono quindi definite le priorità cui attenersi nella gestione dei rifiuti (ovvero la cosiddetta *gerarchia dei rifiuti*) (art. 3):

- a) in primo luogo, la prevenzione o la riduzione della produzione e della nocività dei rifiuti, in particolare mediante:
 - i. lo sviluppo di tecnologie pulite, che permettano un maggiore risparmio di risorse naturali;
 - ii. la messa a punto tecnica e l'immissione sul mercato di prodotti concepiti in modo da non contribuire o da contribuire il meno possibile, per la loro fabbricazione, il loro uso o il loro smaltimento, ad incrementare la quantità o la nocività dei rifiuti e i rischi di inquinamento;
 - iii. lo sviluppo di tecniche appropriate per l'eliminazione di sostanze pericolose contenute nei rifiuti destinati ad essere recuperati;
- b) in secondo luogo:

¹⁶ Direttiva del Consiglio del 5 aprile 2006 (G.U.U.E. n. L 114 del 27/04/2006).

¹⁷ La direttiva 75/442/CE è stata abrogata dall'articolo 20 della direttiva 2006/12/Ce (con decorrenza 17 maggio 2006), "fatti salvi gli obblighi degli Stati membri relativi ai termini di attuazione di cui all'allegato III, parte B" della stessa.

- i. *il recupero dei rifiuti mediante riciclo, reimpiego, riutilizzo od ogni altra azione intesa a ottenere materie prime secondarie;*
- ii. *l'uso di rifiuti come fonte di energia.*

Da tale elenco di priorità si evidenzia chiaramente come lo smaltimento in discarica dei rifiuti (che costituisce oggi il destino del 49% dei rifiuti urbani prodotti nell'Unione Europea ed il 52% in Italia) debba essere il più possibile limitato, rappresentando una perdita di risorse e una fonte potenzialmente significativa di contaminazione e inquinamento dell'ambiente.

La Direttiva prevede (art. 8) disposizioni finalizzate a garantire che ogni detentore di rifiuti li consegni ad un raccoglitore privato o pubblico, o ad un'impresa che effettua operazioni di recupero o smaltimento, oppure provveda egli stesso al loro recupero o smaltimento.

In conformità al principio "*chi inquina paga*" si prevede che il costo (art. 15) per lo smaltimento dei rifiuti sia sostenuto dal detentore che consegna i rifiuti ad un raccoglitore o ad un'impresa autorizzata, dai precedenti detentori o dal produttore del prodotto dal quale si sono generati i rifiuti in questione.

Infine, si ricorda la Direttiva 2008/98/CE¹⁸ detta anche "Nuova Direttiva Quadro Rifiuti" la quale abroga alcune direttive. La nuova Direttiva conferma che l'obiettivo principale di qualsiasi politica in materia di rifiuti dovrebbe essere di ridurre al minimo le conseguenze negative della produzione e della gestione dei rifiuti per la salute umana e l'ambiente. Nell'ambito della cosiddetta gerarchia dei rifiuti si conferma inoltre che la priorità principale della gestione dei rifiuti dovrebbe essere la prevenzione e che il riutilizzo e il riciclaggio di materiali dovrebbero preferirsi alla valorizzazione energetica, nella misura in cui riutilizzo e riciclaggio rappresentano le alternative migliori dal punto di vista ambientale.

Tra le principali novità si segnalano:

- a) viene introdotta la distinzione tra il deposito preliminare dei rifiuti in attesa della loro raccolta, la raccolta i rifiuti e il deposito di rifiuti in attesa del trattamento;
- b) sono introdotte le definizioni di "prevenzione", "riutilizzo", "preparazione per il riutilizzo", "trattamento" e "riciclaggio" per precisare la portata di tali nozioni;
- c) sono modificate le nozioni di "recupero" e "smaltimento" per garantire una netta distinzione tra questi due concetti;
- d) si precisa che quando l'incenerimento dei rifiuti solidi urbani è efficiente dal punto di vista energetico può essere considerato un'operazione di recupero;
- e) si introduce e rafforza il principio della responsabilità estesa del produttore, al fine di sostenere una progettazione e una produzione dei beni che prendano pienamente in considerazione e facilitino l'utilizzo efficiente delle risorse durante l'intero ciclo di vita;
- f) al fine di attuare la cosiddetta "società di riciclaggio", cercando di evitare la produzione di rifiuti e di utilizzare i rifiuti come risorse ed al fine di

¹⁸ Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008.

promuovere il riciclaggio di alta qualità, si prevede che i rifiuti debbano essere raccolti separatamente nella misura in cui ciò sia fattibile da un punto di vista tecnico, ambientale ed economico, prima di essere sottoposti a operazioni di recupero. Sono, inoltre, fissati i seguenti obiettivi in termini di riutilizzo e riciclaggio:

- i. entro il 2020, la prevenzione per il riutilizzo di rifiuti quale, come minimo, carta, metalli, plastica e vetro provenienti dai nuclei domestici, e possibilmente di altra origine deve essere aumentata complessivamente almeno al 50% in termini di peso;
 - ii. entro il 2020 la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e altri tipi di recupero di materiale, incluse operazioni di colmatazione che utilizzano i rifiuti in sostituzione di altri materiali, di rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi, escluso il materiale allo stato naturale definito alla voce 17 05 04 dell'elenco dei rifiuti, deve essere aumentata almeno al 70% in termini di peso;
- g) si prevede una rete di operazione tra impianti di smaltimento e impianti per il recupero dei rifiuti urbani non differenziati provenienti dalla raccolta domestica, che tenga conto del contesto geografico e della necessità di disporre i impianti specializzati per alcuni tipi di rifiuti.

2.1.1.1 La Direttiva Discariche 99/31/CE

La Direttiva Discariche 99/31/CE (recepita in Italia mediante il recente Decreto Legislativo 36/2003) prevede principalmente la drastica e progressiva riduzione del rifiuto biodegradabile (dato dall'insieme di frazione umida, carta, tessili e legno) da conferire in discarica. Tali previsioni perseguono lo scopo di diminuire la produzione di biogas delle discariche (uno dei più elevati contributi alla componente di effetto serra dovuto ai rifiuti) e di migliorare le condizioni operative generali in discarica per rendere questa forma di smaltimento più sicura. (diminuire la aggressività chimica dei percolati, diminuire le modifiche nella forma dei siti dopo la chiusura della discarica).

Secondo il progetto europeo (Direttiva 1999/31/Ce) la quantità di rifiuti municipali biodegradabili messi in discarica dovrà essere così ridotta:

- non più tardi di 5 anni dal recepimento della direttiva, la frazione biodegradabile del rifiuto urbano da collocare in discarica deve essere ridotta, per quanto possibile, al 75% del totale (in peso) di rifiuto urbano biodegradabile prodotto nel 1995 o nell'ultimo anno per cui si hanno i dati standardizzati dall'Eurostat;
- non più tardi di 8 anni dal recepimento della direttiva, la frazione biodegradabile del rifiuto urbano da collocare in discarica deve essere ridotta, per quanto possibile, al 50% del totale (in peso) di rifiuto urbano biodegradabile prodotto nel 1995 o nell'ultimo anno per cui si hanno i dati standardizzati dall'Eurostat;
- non più tardi di 15 anni dal recepimento della direttiva la frazione biodegradabile del rifiuto urbano da collocare in discarica deve essere ridotta al

35% (in peso) di rifiuto urbano biodegradabile prodotto nel 1995 o nell'ultimo anno per cui si hanno i dati standardizzati dall'Eurostat.

La direttiva prevede i seguenti obblighi fondamentali:

- classificazione delle discariche in tre categorie: discariche per rifiuti pericolosi, discariche per rifiuti non pericolosi e discariche per rifiuti inerti; in ogni discarica possono essere accettati solo i rifiuti che soddisfano gli specifici criteri di ammissione;
- divieto di contemporaneo smaltimento in discarica dei rifiuti pericolosi e non pericolosi;
- divieto di immissione in discarica di alcuni rifiuti quali pneumatici, rifiuti liquidi, esplosivi, corrosivi ed infiammabili, rifiuti infetti provenienti da cliniche e istituti veterinari;
- obbligo di trattamento di tutti i rifiuti prima dell'immissione in discarica (definizione estremamente ampia di trattamento);
- fissazione di condizioni dettagliate per il rilascio delle autorizzazioni;
- il prezzo applicato per lo smaltimento in discarica deve coprire tutti i costi derivanti dal rispetto dei requisiti stabiliti dalla direttiva;
- fissazione di requisiti tecnici per le discariche;
- disposizioni relative alle procedure di sorveglianza;
- disposizioni relative alla chiusura e alla gestione successiva alla chiusura
- periodo di transizione fino al 2009 per l'adeguamento di tutte le discariche esistenti (è previsto un periodo più breve per alcuni requisiti riguardanti le discariche per rifiuti pericolosi; a partire dal 2004 non è più consentito il contemporaneo smaltimento di rifiuti pericolosi e non pericolosi).

2.1.1.2 La proposta di Direttiva sul Trattamento Biologico del Rifiuto Biodegradabile

Negli ultimi anni, la Commissione Europea ha predisposto una *bozza di direttiva sul Trattamento Biologico dei Rifiuti Biodegradabili*, al fine di:

- assicurare un approccio equilibrato sulla riduzione del rifiuto biodegradabile alle discariche delineata nella Dir. 99/31/CE, che pone la necessità di riciclare la sostanza organica come un'opzione migliore rispetto al recupero energetico (considerato lo sfruttamento energetico del rifiuto umido più difficoltoso per l'umidità intrinseca del materiale);
- fissare alcuni obiettivi di riciclaggio dello scarto compostabile, in modo da assicurare l'ulteriore sviluppo del compostaggio in Europa;
- definire valori limite, condizioni per l'uso e regole di mercato comuni per i prodotti compostati nei diversi Paesi europei;
- sviluppare ulteriormente la produzione di ammendanti compostati di alta qualità per l'uso in agricoltura biologica e come mezzo per combattere la desertificazione nei Paesi del Sud d'Europa;

- inquadrare strategicamente anche quei processi, comunemente denominati come Trattamento Meccanico-Biologico (definito in passato come “compostaggio” dell’RSU indifferenziato) che stanno ora avendo un ampio sviluppo per il trattamento del rifiuto residuo delle raccolte differenziate; ciò al fine di definire il loro ruolo nella strategia integrata di gestione dei rifiuti e gli ambiti di utilizzo (es. applicazioni circoscritte in operazioni di recupero ambientale o smaltimento in discarica del biostabilizzato).

La Direttiva è alla seconda Bozza, e la discussione tra Paesi membri della UE e associazioni di settore ha portato ad una definizione già abbastanza dettagliata dei temi. Una delle previsioni più importanti incluse nella Bozza è *l’obbligo per gli Stati Membri di implementare, allo scopo di aumentare la produzione di compost di qualità, programmi e strategie di raccolta differenziata della frazione umida*, che dovrebbero includere, oltre alle utenze commerciali (mercati, bar, ristoranti, fruttivendoli, ecc) anche le utenze domestiche, anche se con le opportune eccezioni (es. contesti rurali, centri di grandi Città, con sviluppo prevalentemente commerciale o a servizi, ecc.).

2.2 Normativa nazionale D.Lgs 152/2006

Il primo vero atto normativo in Italia in materia di rifiuti è stato il Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 e s.m.i.¹⁹ (“Decreto Ronchi”) che ha dato attuazione alle direttive comunitarie 91/156/CE sui rifiuti, 91/689/CE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio.

Oggi tale Decreto è stato sostituito dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i.²⁰ “*Norme in materia ambientale*” (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96), entrato in vigore il 29 aprile 2006, che ha portato alla completa rivisitazione del quadro normativo nazionale in materia ambientale. Come noto, il Decreto Legislativo 152/2006 ha avuto alterne vicende, ed è attualmente in corso la scrittura del nuovo testo, in parte già iniziata con il Decreto Legislativo n. 284 dell’8/11/2006, “*Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale*” sulla base di nuovi indirizzi.

¹⁹ Modifiche e integrazioni apportate dal Decreto Legislativo 8 novembre 1997, n. 389 (G.U. n. 261 dell’8 novembre 1997), dalla legge 9 dicembre 1998, n. 426 (G.U. n. 291 del 14 dicembre 1998), dalla legge 23 dicembre 1999, n. 488 (G.U. n. 301 del 24/12/1999) e da e dalla legge n. 93 del 23 marzo 2001 (G.U. n. 79 del 4 aprile 2001).

²⁰ Testo aggiornato dal Decreto Legislativo 8 novembre 2006, n. 284 (G.U. n. 274 del 24/11/2006); Decreto Legge 28 dicembre 2006 n. 300 “*Decreto Milleproroghe*” (G.U. n. 300 del 28/12/2006); Finanziaria 2007 n. 296 del 27 dicembre 2006 (G.U. n. 299 del 27/12/2006-S.O. n. 244); Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4 “*Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152*” (G.U. n. 24 del 29/01/2008) e Decreto Legge 28 febbraio 2008 n. 31, “*Conversione Decreto Milleproroghe*” (G.U. n. 51 del 29/02/2008).

Tale percorso, che si è al momento concretizzato solo in parziali modifiche del dettato normativo, appare, in effetti, di particolare complessità e non è ad oggi valutabile l'effettiva tempistica con la quale potranno essere apportate successive modifiche, così come appare incerto l'effettivo contenuto di queste modifiche.

Per quella che è alla data attuale la formulazione del testo di legge, la sezione riguardante le norme in materia di gestione dei rifiuti, si trova nella parte quarta del testo, dall'art. 177 all'art. 266, composta da sei titoli, sinteticamente di seguito illustrati.

Titolo Primo: gestione dei rifiuti – Capo Primo: Disposizioni generali.

La parte quarta del presente Decreto disciplina (art. 177) la gestione dei rifiuti, dei rifiuti pericolosi, degli oli usati, delle batterie esauste, dei rifiuti di imballaggi, dei policlorobifenili (PCB), sulle discariche, sugli inceneritori, sui rifiuti elettrici ed elettronici, sui rifiuti portuali, sui veicoli fuori uso, sui rifiuti sanitari e sui rifiuti contenenti amianto.

La gestione dei rifiuti costituisce attività di pubblico interesse e deve essere effettuata assicurando un'elevata protezione dell'ambiente e controlli efficaci tenendo conto della specificità dei rifiuti pericolosi (art. 178).

In via prioritaria, deve essere ricercata, dalle pubbliche amministrazioni, la prevenzione e la riduzione della produzione e della nocività dei rifiuti, attraverso lo sviluppo di energie pulite che permettano un uso più razionale delle risorse naturali, nonché attraverso lo sviluppo di tecniche appropriate per l'eliminazione di sostanze pericolose contenute nei rifiuti (art. 179).

Ai fini di una corretta gestione dei rifiuti (art. 181) le pubbliche amministrazioni favoriscono la riduzione dello smaltimento finale dei rifiuti attraverso:

- a) il riutilizzo, il reimpiego ed il riciclaggio;
- b) le altre forme di recupero per ottenere materia prima e secondaria dai rifiuti;
- c) l'adozione di misure economiche e la previsione di condizioni d'appalto che prescrivano l'impiego dei materiali recuperati dai rifiuti al fine di favorire il mercato di tali materiali;
- d) l'utilizzazione dei rifiuti come mezzo per produrre energia.

Lo smaltimento dei rifiuti (art. 182) deve essere effettuato in condizioni di sicurezza e costituisce la fase residuale della gestione dei rifiuti, previa verifica, da parte della competente autorità, della impossibilità tecnica ed economica di effettuare le operazioni di recupero di cui all'art. 181.

Il decreto fornisce inoltre alcune definizioni (art. 183) relative ai termini:

- **“rifiuto”** definito come (comma 1, lettera a): “qualsiasi sostanza od oggetto che rientra nelle categorie riportate nell'Allegato A alla parte quarta del presente decreto e di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi”;
- **“raccolta differenziata”** definita come (comma 1, lettera f): “la raccolta idonea, secondo criteri di economicità, trasparenza ed efficienza, a raggruppare i rifiuti urbani in frazioni merceologiche omogenee, al momento della raccolta o, per la frazione organica umida, anche al momento del trattamento, nonché a raggruppare i rifiuti da imballaggio

separatamente dagli altri rifiuti urbani, a condizione che tutti i rifiuti sopra indicati siano effettivamente destinati al recupero”.

Ruolo importante della gestione dei rifiuti è la classificazione degli stessi, infatti, in funzione della tipologia di rifiuto, sono stabiliti diversi e specifici sistemi di recupero e smaltimento.

In base all'art. 184 i rifiuti sono classificati secondo l'origine e la pericolosità del rifiuto stesso.

In Tabella 3 sono classificati i rifiuti in base l'origine, i quali si suddividono:

- Urbani o Rifiuti Solidi urbani (RSU) (comma 2);
- Speciali (comma 3).

Tabella 3: *Classificazione dei rifiuti in base alla loro origine (D. Lgs. 152/2006)*

CLASSIFICAZIONE RIFIUTI IN BASE ALLA LORO ORIGINE	DEFINIZIONE
Urbani o Rifiuti Solidi Urbani (RSU)	<ul style="list-style-type: none"> a) Sono i rifiuti domestici, anche ingombranti, provenienti da locali e luoghi adibiti ad uso di civile abitazione; b) I rifiuti non pericolosi provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi da quelli di cui alla lettera a), assimilati ai rifiuti urbani per qualità e quantità, ai sensi dell'articolo 198, comma 2, lettera g); c) I rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade; d) I rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche, o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua; e) I rifiuti vegetali provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi e aree cimiteriali; f) I rifiuti provenienti da esumazioni ed estumulazioni, nonché gli altri rifiuti provenienti da attività cimiteriale diversi da quelli di cui alle lettere b), c) ed e).
Speciali	<ul style="list-style-type: none"> a) I rifiuti da attività agricole e agro-industriali; b) I rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti pericolosi che derivano dalle attività di scavo, fermo restando quanto disposto dall'articolo 186; c) I rifiuti da lavorazioni industriali, fatto salvo quanto previsto dall'articolo 185, comma 1, lettera i); d) I rifiuti da lavorazioni artigianali; e) I rifiuti da attività commerciali; f) I rifiuti da attività di servizio; g) I rifiuti derivanti dall'attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi; h) I rifiuti derivanti da attività sanitarie; i) I macchinari e le apparecchiature deteriorati ed obsoleti; l) I veicoli a motore, rimorchi e simili fuori uso e loro parti; m) Il combustibile derivato da rifiuti; n) I rifiuti derivati dalle attività di selezione meccanica dei rifiuti solidi urbani.

In Tabella 4 sono classificati i rifiuti secondo le caratteristiche di pericolosità i quali si suddividono in:

- Pericolosi o Rifiuti Urbani Pericolosi (RUP) (comma 5 art. 184)
- Non pericolosi.

Tabella 4: *Classificazione dei rifiuti in base alla loro pericolosità (D. Lgs. 152/2006)*

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA PERICOLosità	DEFINIZIONI
Pericolosi	Sono pericolosi i rifiuti non domestici indicati espressamente come tali, con apposito asterisco “*”, nell’elenco di cui all’Allegato D alla parte quarta del presente decreto, sulla base degli Allegati G, H e I alla medesima parte quarta.
Non pericolosi	I rifiuti urbani e speciali che, per le loro caratteristiche, rientrano tra i rifiuti contemplati nell’elenco di cui all’allegato D del D. Lgs. 152/2006.

Gli oneri relativi alla gestione dei rifiuti (art. 188) sono a carico del produttore e del detentore, esclusi i rifiuti conferiti al servizio pubblico di raccolta.

Titolo Primo: gestione dei rifiuti – Capo Secondo: Competenze.

Allo Stato competono (art. 195) le funzioni d’indirizzo e coordinamento, la definizione dei criteri generali per la gestione integrata dei rifiuti e delle norme tecniche. Alle Regioni spetta, (art. 196), l’elaborazione e l’adozione dei piani regionali di gestione dei rifiuti (P.R.G.R.), dei piani di bonifica, l’autorizzazione degli impianti di trattamento e smaltimento, la definizione di linee guida e i criteri per la predisposizione e l’approvazione dei progetti di bonifica, la definizione dei criteri per l’individuazione delle aree idonee o non idonee alla localizzazione degli impianti.

Alle Province spettano (art. 197), tra l’altro, il controllo degli interventi di bonifica e delle attività di gestione dei rifiuti, l’individuazione delle zone idonee e non idonee per la localizzazione degli impianti.

Ai Comuni spetta (art. 198) l’effettuazione della gestione dei rifiuti urbani e assimilati, la disciplina di tale gestione tramite appositi regolamenti.

Titolo Primo: gestione dei rifiuti – Capo Terzo: Servizio di gestione integrata dei rifiuti.

Le Regioni predispongono i Piani Regionali di gestione dei rifiuti (art. 199), questi costituiscono il riferimento pianificatorio per l’attuazione di sistemi di gestione di rifiuti conformi agli obiettivi del Decreto.

I Piani Regionali definiscono, tra l’altro, la tipologia e il complesso delle attività e dei fabbisogni impiantistici e i criteri per l’individuazione da parte delle Province delle aree idonee e non idonee alla localizzazione degli impianti.

Il Piano Regionale comprende anche i piani di bonifica delle aree inquinate, per l’individuazione dei siti da bonificare e la definizione delle priorità d’intervento.

La gestione dei rifiuti urbani è organizzata sulla base di ambiti territoriali ottimali, (A.T.O.) delimitati dal piano regionale (art. 200). All’interno di ciascun A.T.O. si deve costituire l’Autorità d’Ambito alla quale è demandata l’organizzazione, l’affidamento e il controllo del servizio di gestione integrata dei rifiuti, occupandosi della realizzazione, gestione ed erogazione dell’intero servizio (art. 201), raggiungendo entro cinque anni dalla data di costituzione, l’autosufficienza di smaltimento e garantendo la presenza di almeno un impianto di trattamento a tecnologia complessa.

In ogni ambito territoriale ottimale (art. 205) deve essere assicurata una raccolta differenziata dei rifiuti urbani pari alle seguenti percentuali minime di rifiuti prodotti:

- almeno il 35% entro il 31 dicembre 2006;
- almeno il 45% entro il 31 dicembre 2008;
- almeno il 65% entro il 31 dicembre 2012.

È esplicitato che agli obiettivi di raccolta differenziata contribuisce la frazione organica umida separata dopo la raccolta qualora “finalizzata al recupero complessivo fra materia ed energia”.

Ai fini dell’attuazione dei principi e obiettivi stabiliti, il Ministero dell’Ambiente si fa promotore (art. 206) d’appositi accordi e contratti di programma con enti pubblici, imprese, associazioni di categoria.

Titolo Primo: gestione dei rifiuti - Capo Quinto: Procedure semplificate.

L’art. 214 determina le attività e le caratteristiche dei rifiuti per l’ammissione alle procedure semplificate, facendo riferimento a specifiche norme tecniche da emanarsi per ciascun tipo d’attività.

Nel rispetto delle norme tecniche e prescrizioni indicate le attività di autosmaltimento di rifiuti non pericolosi (art. 215) e le attività di recupero dei rifiuti (art. 216) non necessitano di autorizzazione, ma possono essere intraprese previa comunicazione di inizio attività alla Provincia competente.

La sezione regionale dell’Albo nazionale gestori ambientali iscrive in apposito registro le imprese che effettuano la comunicazione di inizio attività e verifica la sussistenza dei presupposti e dei requisiti richiesti.

Titolo Secondo: Gestione degli imballaggi.

Il Decreto disciplina al titolo II della quarta sezione la gestione degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio (art. 217), per prevenirne e ridurne l’impatto sull’ambiente.

L’art. 218 riporta le definizioni d’interesse in merito a quanto disposto dal testo legislativo; si sottolinea in particolare la distinzione tra imballaggi primari, secondari e terziari (comma 1, lettere a); b); c); d)):

- a) **imballaggio**: *il prodotto, composto di materiali di qualsiasi natura, adibito a contenere determinate merci, dalle materie prime ai prodotti finiti, a proteggerle, a consentire la loro manipolazione e la loro consegna dal produttore al consumatore o all'utilizzatore, ad assicurare la loro presentazione, nonché gli articoli a perdere usati allo stesso scopo;*
- b) **imballaggio per la vendita o imballaggio primario**: *imballaggio concepito in modo da costituire, nel punto di vendita, un'unità di vendita per l'utente finale o per il consumatore;*
- c) **imballaggio multiplo o imballaggio secondario**: *imballaggio concepito in modo da costituire, nel punto di vendita, il raggruppamento di un certo numero di unità di vendita, indipendentemente dal fatto che sia venduto come tale all'utente finale o al consumatore, o che serva soltanto a*

facilitare il rifornimento degli scaffali nel punto di vendita. Esso può essere rimosso dal prodotto senza alterarne le caratteristiche;

- d) **imballaggio per il trasporto o imballaggio terziario:** *imballaggio concepito in modo da facilitare la manipolazione ed il trasporto di merci, dalle materie prime ai prodotti finiti, di un certo numero di unità di vendita oppure di imballaggi multipli per evitare la loro manipolazione ed i danni connessi al trasporto, esclusi i container per i trasporti stradali, ferroviari marittimi ed aerei;*

L'attività di gestione degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio (art. 219) deve basarsi sulla prevenzione alla fonte, sulla incentivazione del riciclaggio, del recupero e sulla riduzione del flusso di rifiuti destinati a smaltimento finale.

A tal fine, si sancisce il principio della responsabilizzazione degli operatori economici ("chi inquina paga") e della cooperazione tra gli stessi ("responsabilità condivisa"). A carico di produttori e utilizzatori di imballaggi è quindi posto il conseguimento degli obiettivi di riciclaggio e recupero fissati nell'allegato E alla parte IV del Decreto (art. 220), come di seguito riportato in Tabella 5:

Tabella 5: Obiettivi di recupero e di riciclaggio (art. 220) come da Allegato E (D. Lgs. 152/2006)

Entro il 31 dicembre 2008	almeno il 60% in peso dei rifiuti di imballaggio sarà recuperato o sarà incenerito in impianti di incenerimento rifiuti con recupero di energia;
Entro il 31 dicembre 2008	sarà riciclato almeno il 55% e fino all'80% in peso dei rifiuti di imballaggio.
Materiali contenuti nei rifiuti da imballaggio:	60% in peso per il vetro; 60% in peso per la carta e cartone; 50% in peso per i metalli; 26% in peso per la plastica, tenuto conto esclusivamente dei materiali riciclati sottoforma di plastica; 35% in peso per il legno.

Per il conseguimento di questi obiettivi produttori e utilizzatori sono obbligati (art. 221) a partecipare al Consorzio Nazionale Imballaggi (CONAI); in caso di non adesione, essi devono comunque farsi carico del ritiro dei loro imballaggi usati immessi sul mercato, predisponendo un sistema organizzativo per la loro gestione in grado di conseguire, nell'ambito delle attività svolte, gli obiettivi di recupero e riciclaggio di cui all'art. 220. Sono a carico di produttori e utilizzatori i costi per il ritiro degli imballaggi usati, il riutilizzo, il riciclaggio, il recupero e lo smaltimento degli stessi.

La Pubblica Amministrazione (art. 222) ha l'obbligo di organizzare sistemi adeguati di raccolta differenziata per consentire al consumatore il conferimento al servizio pubblico di rifiuti di imballaggio selezionati dai rifiuti domestici e da altri tipi di rifiuti da imballaggio.

I produttori che non provvedono autonomamente alla raccolta, riutilizzo, riciclaggio e recupero dei rifiuti di imballaggio o che non attestano, sotto la propria responsabilità, che è stato messo in atto un sistema di restituzione dei propri imballaggi, devono (art. 223) costituire un Consorzio per ciascuna tipologia di materiale di imballaggio operante su tutto il territorio nazionale. Ogni Consorzio predispone e

trasmette a CONAI e all'Autorità di vigilanza sulle risorse idriche e sui rifiuti un proprio Programma specifico di prevenzione.

L'art. 224 definisce la struttura e le funzioni del CONAI. Si indica, inoltre, la possibilità per CONAI di stipulare un accordo di programma quadro su base nazionale con l'Associazione Nazionale Comuni italiani (ANCI), con l'Unione delle Province italiane (UPI) o con le Autorità d'Ambito che preveda in particolare il contributo da versare alle competenti amministrazioni pubbliche a copertura degli oneri della raccolta differenziata dei rifiuti di imballaggio.

Sulla base dei Programmi specifici di prevenzione predisposti dai Consorzi, CONAI elabora annualmente (art. 225) un Programma generale di prevenzione e di gestione degli imballaggi e dei rifiuti di imballaggio.

In tale programma sono definite le misure per la prevenzione dei rifiuti di imballaggio, per l'accrescimento della quota di rifiuti di imballaggio riciclabili e/o riutilizzabili rispetto ai non riciclabili e/o non riutilizzabili, per il miglioramento delle caratteristiche di durata degli imballaggi, per la realizzazione degli obiettivi di recupero e riciclaggio; sono inoltre definiti gli obiettivi quinquennali e intermedi di recupero per tipologia di materiale.

L'art. 226 sancisce quindi il divieto di smaltimento in discarica di imballaggi e contenitori recuperati, il divieto di immissione nel normale circuito di raccolta dei rifiuti urbani di imballaggi terziari (il conferimento è ammesso per gli imballaggi secondari solo come raccolta differenziata), altre prescrizioni in merito alle caratteristiche qualitative degli imballaggi commercializzati.

Titolo Terzo: Gestione di particolari categorie di rifiuti.

Gli articoli che vanno dal 227 al 236 riportano prescrizioni specifiche in merito a particolari categorie di rifiuti.

In particolare, l'art. 227 è dedicato ai rifiuti elettrici ed elettronici (RAEE), ai rifiuti sanitari, ai veicoli fuori uso e ai prodotti contenenti amianto per i quali restano ferme le disposizioni speciali nazionali e comunitarie relative.

L'art. 228, fermo restando il disposto di cui al D. Lgs. N. 209 del 24 giugno 2003, nonché il disposto di cui agli articoli 179 e 180 del presente decreto, al fine di ottimizzare il recupero dei pneumatici fuori uso e per ridurre la formazione anche attraverso la ricostruzione e' fatto obbligo ai produttori e agli importatori di pneumatici di provvedere, con periodicità almeno annuale, alla gestione di quantitativi di pneumatici fuori uso pari a quelli dei medesimi immessi sul mercato e destinati alla vendita sul territorio nazionale.

L'art. 229 si occupa del combustibile da rifiuti e combustibile da rifiuti di qualità elevata (CDR e CDR-Q). Il CDR è classificato come rifiuto speciale e come tale deve essere trattato, il CDR-Q è, invece, escluso dall'ambito di applicazione della parte quarta del Decreto in analisi.

L'art. 230 è dedicato ai rifiuti derivanti da attività di manutenzione delle infrastrutture.

Per i veicoli fuori uso non disciplinati dal D. Lgs. n. 209 del 24 Giugno 2003 nell'art. 231 si prescrive l'obbligo di consegna da parte del proprietario a centri regolarmente autorizzati direttamente o tramite concessionari o succursali delle case costruttrici.

Gli art. 233, 234, 235 e 237 istituiscono rispettivamente il Consorzio nazionale di raccolta e trattamento degli oli e dei grassi vegetali ed animali esausti, il Consorzio per il riciclaggio di rifiuti di beni in polietilene, il Consorzio nazionale per la raccolta e trattamento delle batterie al piombo esauste e dei rifiuti piombosi e il Consorzio nazionale per la gestione, la raccolta e il trattamento degli oli minerali usati, indicandone funzioni e struttura. Tali consorzi sono tenuti ad adottare sistemi di gestione conformi ai principi di cui all'art. 237.

Titolo Quarto: Tariffa per la gestione dei rifiuti urbani.

La tariffa di cui all'art. 49 del D.Lgs. 22/1997 (Decreto Ronchi) è soppressa e sostituita dalla tariffa per la gestione dei rifiuti urbani (T.I.A.) di cui all'art. 238, fatto salvo fino all'emanazione di un regolamento successivo disposto dalle autorità nazionali. Si riportano indicazioni specifiche in merito alla applicazione e alla struttura della tariffa, facendo riferimento al successivo provvedimento di definizione del metodo normalizzato per la determinazione della tariffa di riferimento; in particolare si fa cenno all'introduzione, oltre ai criteri qualitativi e quantitativi di produzione dei rifiuti, di indici reddituali articolati per fasce di utenze e territoriali.

Titolo Quinto: Bonifica dei siti contaminati.

Il titolo quinto disciplina gli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati definendo le procedure, i criteri e le modalità per lo svolgimento delle operazioni necessarie per l'eliminazione delle sorgenti di inquinamento e riduzione delle concentrazioni di sostanze inquinanti (art. 239). L'art. 240 contiene una serie di definizioni ai fini dell'applicazione del presente titolo approfondendo la distinzione tra misure di prevenzione e riparazione, messa in sicurezza, bonifica e ripristino.

Titolo Sesto: Sistema sanzionatorio e disposizioni transitorie finali - Capo I: sanzioni.

Definisce il sistema sanzionatorio relativo a: abbandono di rifiuti (art. 255), attività di gestione di rifiuti non autorizzata (art. 256), bonifica dei siti (art. 257), violazione degli obblighi di comunicazione e di tenuta dei registri obbligatori e dei formulari (art. 258), traffico illecito di rifiuti (art. 259), attività organizzate per il traffico illecito di rifiuti (art. 260) imballaggi (art. 261).

Si indicano inoltre le competenze e la giurisdizione in materia (art. 262) e il destino dei proventi delle sanzioni amministrative pecuniarie (art. 263).

Titolo Sesto: Sistema sanzionatorio e disposizioni transitorie finali - Capo II: disposizioni transitorie e finali.

L'art. 264 riporta i riferimenti delle precedenti norme abrogate dalla parte quarta del D. Lgs. 152/2006.

L'art. 265 riporta le disposizioni transitorie, fino alla piena attuazione di quanto previsto dalla parte quarta del Decreto.

In particolare le norme regolamentari e tecniche che disciplinano la gestione dei rifiuti restano in vigore fino all'adozione delle specifiche norme tecniche previste dalla parte quarta del Decreto.

Infine, l'art. 266 contiene ulteriori disposizioni finali.

Allegati

Il D. Lgs. 152/2006 nella parte quarta riporta i seguenti allegati:

- Allegato A definisce le categorie di prodotti e sostanze che possono costituire rifiuti;
- Allegato B individua le diverse operazioni di smaltimento sui rifiuti;
- Allegato C individua le diverse operazioni di recupero sui rifiuti;
- Allegato D riporta l'elenco dei rifiuti;
- Allegato E definisce gli obiettivi di recupero e di riciclaggio e i criteri interpretativi per la definizione di imballaggio;
- Allegato F individua i criteri riguardanti la composizione e, la riutilizzazione e la recuperabilità (in particolare la riciclabilità) degli imballaggi;
- Allegato G individua le categorie o i tipi generici di rifiuti pericolosi;
- Allegato H individua le costituenti che rendono pericolosi i rifiuti;
- Allegato I individua le caratteristiche di pericolo per i rifiuti.

2.2.1 Decreti attuativi del Decreto Legislativo 3 Aprile 2006 n. 152

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha approvato 17 decreti attuativi del Decreto stesso.

In seguito, il Ministero, con un Comunicato recante *"Avviso relativo alla segnalazione di inefficacia di diciassette decreti ministeriali ed interministeriali, attuativi del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, riguardante: «Norme in materia ambientale, pubblicati nella Gazzetta Ufficiale in data 10, 11, 16, 17, 18 e 24 maggio 2006"*, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 146 del 26 giugno 2006, ha proceduto a segnalare l'**inefficacia dei seguenti diciassette decreti**:

- Istituzione dell'Autorità di vigilanza sulle risorse idriche e sui rifiuti, ai sensi dell'articolo 159, comma 1 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Il comitato di vigilanza dell'uso delle risorse idriche (Coviri) assume la denominazione di Autorità per la vigilanza sulle risorse idriche e sui rifiuti. L'Autorità è costituita dai presidenti e dai componenti del Coviri e dell'Osservatorio Nazionale sui rifiuti che restano in carica per sette anni. (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 108 del 11/05/2006);
- Norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue, ai sensi dell'articolo 99, comma 1 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Il decreto stabilisce i criteri per il riutilizzo delle acque reflue domestiche, urbane ed industriali. (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 108 del 11/05/2006);
- Modalità per l'aggiudicazione, da parte dell'Autorità d'ambito, del servizio di gestione integrata dei rifiuti urbani, ai sensi dell'articolo 202, comma 1 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, il quale stabilisce che le Autorità d'ambito si aggiudicano il servizio di

gestione integrata dei rifiuti urbani mediante gara ad evidenza pubblica disciplinata dai principi e dalle disposizioni comunitarie. (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 108 del 11/05/2006);

- Disciplina delle modalità e dei termini di aggiudicazione della gestione del servizio idrico integrato, ai sensi dell'articolo 150, comma 2 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, il quale detta le modalità di gara e inoltre stabilisce che la disciplina prevista si applica anche nella scelta del socio privato preventiva alla costituzione delle società miste. (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 113 del 17/05/2006);
- Definizione dei limiti esterni dell'estuario. Il Decreto stabilisce che l'estuario è l'area di transizione tra le acque dolci e le acque costiere alla foce di un fiume, ai sensi dell'articolo 74, comma 1, lettera e) del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 05/2006 pubblicato su G.U. n. 107 del 10/05/2006);
- Approvazione dei modelli di registro di carico e scarico dei rifiuti (ad eccezione dei piccoli artigiani che non hanno più di tre dipendenti), ai sensi dell'articolo 190 e 195, commi 2, lettera n) del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 107 del 10/05/2006);
- Criteri, procedure e modalità per il campionamento e l'analisi delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 186 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 107 del 10/05/2006);
- Disciplina per l'esecuzione del monitoraggio della spesa ed altre iniziative informative e conoscitive in campo ambientale, ai sensi dell'articolo 55, comma 5 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. (D.M. 05/05/2006 pubblicato su G.U. n. 107 del 10/05/2006);
- Gestione dei registri delle imprese autorizzate alla gestione dei rifiuti, ai sensi dell'articolo 212, comma 6 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 108 del 11/05/2006);
- Riorganizzazione del catasto dei rifiuti, ai sensi dell'articolo 189 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 108 del 11/05/2006);
- Individuazione delle tipologie di beni in polietilene rientranti nel campo di applicazione dell'articolo 234 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 108 del 11/05/2006);
- Attuazione Decreto di cui all'articolo 226, comma 3. Aggiornamento degli standard europei fissati dal Comitato europeo di normazione (CEN), in conformità ai requisiti essenziali stabiliti all'articolo 9 della direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e rifiuti di

imballaggio (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 108 del 11/05/2006);

- Requisiti relativi al centro di raccolta e all'impianto di trattamento dei veicoli fuori uso non disciplinati dal decreto legislativo 24 giugno 2003, n. 209, e successive modificazioni, ai sensi dell'articolo 231, comma 13 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 112 del 16/05/2006);
- Semplificazione delle procedure amministrative relative alle rocce e terre da scavo provenienti da cantieri di piccole dimensioni la cui produzione non superi i seimila metri cubi di materiale, ai sensi dell'articolo 266, comma 7 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 112 del 16/05/2006);
- Gestione delle entrate derivante dall'Albo dei gestori di rifiuti ai sensi dell'articolo 212, comma 16 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 113 del 17/05/2006);
- Attuazione Decreto di cui all' articolo 184, comma 4. Istituzione dell'elenco dei rifiuti, in conformità all'articolo 1, comma 1, lettera A), della direttiva 75/442/CE ed all'articolo 1, paragrafo 4, della direttiva 91/689/CE, di cui alla decisione della Commissione 2000/532/CE del 3 maggio 2000 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 114 del 18/05/2006);
- Approvazione dello schema tipo di statuto dei consorzi per ciascun materiale di imballaggio operanti su tutto il territorio nazionale, ai sensi dell'articolo 223, comma 2 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D.M. 02/05/2006 pubblicato su G.U. n. 119 del 24/05/2006).

2.2.2 Successive modifiche al “Testo Unico Ambientale”

La Legge n. 296 del 27 dicembre 2006, Legge Finanziaria 2007, introduce alcune importanti novità rispetto al Decreto Legislativo 152/2006; si ritiene che tali contenuti rappresentino anticipazioni rispetto agli orientamenti che saranno poi recepiti nella riscrittura in corso del “Testo Unico”.

Si segnala innanzitutto la definizione, al comma 1108, di nuovi obiettivi di raccolta differenziata, cui sono peraltro associate tempistiche diverse da quelle previste dal D. Lgs. 152/2006; le Regioni devono, infatti, provvedere, previa diffida e tramite un commissario ad acta, a garantire il governo della gestione dei rifiuti a livello di ambito territoriale ottimale con riferimento a quegli ATO che non assicurino una raccolta differenziata dei rifiuti urbani pari alle seguenti percentuali minime:

- almeno il 40% entro il 31 dicembre 2007;
- almeno il 50% entro il 31 dicembre 2009;
- almeno il 60% entro il 31 dicembre 2011.

Per gli anni successivi al 2011 il comma 1109 prevede che la percentuale minima di raccolta differenziata da assicurare è stabilita con decreto del Ministero dell'ambiente

e della tutela del territorio e del mare, sentita la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, in vista di una progressiva riduzione della quantità di rifiuti inviati in discarica e nella prospettiva di rendere concretamente realizzabile l'obiettivo "Rifiuti zero".

La Legge Finanziaria ridefinisce inoltre, la scadenza per il divieto di smaltimento in discarica di rifiuti ad elevato PCI (proroga dal 31/12/2006 al 31/12/2007)²¹.

Infine, il provvedimento stabilisce che “nelle more della completa attuazione delle disposizioni recate dal decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 in materia di assimilazione dei rifiuti speciali ai rifiuti urbani, continuano ad applicarsi le disposizioni degli articoli 18, comma, 2 lettera d) e dell'articolo 57, comma 1, del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22”.

Il grosso delle modifiche al “codice Ambientale” è stato apportato con il Decreto Legislativo n. 4 del 16 gennaio 2008²², che ha introdotto numerose e rilevanti novità all'originario D. Lgs. 152/2006 in materia di rifiuti.

L'art. 179 del D. Lgs. n. 152/2006, dopo avere indicato i principi di prevenzione e riduzione della produzione e nocività dei rifiuti come criteri da seguire in via prioritaria da parte delle Pubbliche Amministrazioni, al suo nuovo comma 2 dispone una puntuale gerarchia delle forme di recupero, per cui: “rispetto delle misure prioritarie di cui al comma 1, le misure dirette al recupero dei rifiuti mediante riutilizzo, riciclo o ogni altra azione diretta ad ottenere da essi materia secondaria sono adottate con priorità rispetto all'uso dei rifiuti come fonte di energia”.

A questa nozione di recupero si lega strettamente la riformulata definizione di “raccolta differenziata”, definita come: «la raccolta idonea a raggruppare i rifiuti urbani in frazioni merceologiche omogenee compresa la frazione organica umida, destinate al riutilizzo, al riciclo ed al recupero di materia. La frazione organica umida è raccolta separatamente o con contenitori a svuotamento riutilizzabili o con sacchetti biodegradabili certificati».

Con le modifiche all'art. 182, commi 6 ed 8, del D. Lgs. n. 152/06 viene, inoltre, vietato, salvo autorizzazione e idonei trattamenti, lo smaltimento in fognatura dei rifiuti domestici organici anche se triturati.

Sono introdotti criteri più restrittivi per quanto riguarda i sottoprodotti e le materie prime secondaria.

In merito ai primi essi non sono considerati rifiuti se soddisfano tutti i seguenti criteri, requisiti e condizioni (art 183 comma 1 lettera p):

- siano originati da un processo non direttamente destinato alla loro produzione;
- il loro impiego sia certo, sin dalla fase della produzione, integrale e avvenga direttamente nel corso del processo di produzione o di utilizzazione preventivamente individuato e definito;
- soddisfino requisiti merceologici e di qualità ambientale idonei a garantire che il loro impiego non dia luogo ad emissioni e ad impatti

²¹ Ulteriormente prorogata al 31/12/2008 con la Legge 31/2008.

²² “Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale”.

ambientali qualitativamente e quantitativamente diversi da quelli autorizzati per l'impianto dove sono destinati ad essere utilizzati;

- non debbano essere sottoposti a trattamenti preventivi o a trasformazioni preliminari per soddisfare i requisiti merceologici e di qualità ambientale di cui al punto 3), ma posseggano tali requisiti sin dalla fase della produzione;
- abbiano un valore economico di mercato;

Nel rispetto delle condizioni dettate dalla lettera p), comma 1, dell'art. 183 D. Lgs n. 152/2006 possono essere sottoprodotti:

- i materiali fecali e vegetali provenienti da attività agricole utilizzati nelle attività agricole o in impianti aziendali o interaziendali per produrre energia o calore, o biogas;
- i materiali litoidi o terre da coltivazione, anche sotto forma di fanghi, provenienti dalla pulizia o dal lavaggio di prodotti agricoli e riutilizzati nelle normali pratiche agricole e di conduzione dei fondi;
- le eccedenze derivanti dalle preparazioni di cibi solidi, cotti o crudi, destinate, con specifici accordi, alle strutture di ricovero di animali di affezione di cui alla legge 14 agosto 1991, n. 281.

Per quanto riguarda, invece, le materie prime secondarie, per la piena attuazione delle nuove disposizioni si dovrà attendere l'emanazione di un decreto ministeriale che fissi le caratteristiche delle MPS²³; talché nella fase transitoria continuano a trovare applicazione le disposizioni di cui ai decreti ministeriali 5 febbraio 1998, 12 giugno 2002, n. 161, e 17 novembre 2005, n. 269.

Le MPS vengono escluse dalla normativa dei rifiuti nel caso il cui:

- Siano prodotte da attività di riutilizzo riciclo e recupero dei rifiuti dei rifiuti (sottoposte a trattamento);
- Provenienza, destinazione, modalità di recupero e caratteristiche merceologiche sono coerenti con i criteri individuati dal D.M.;
- Abbiano valore economico.

Modificate anche le regole per la conduzione del deposito temporaneo (il raggruppamento dei rifiuti effettuato, prima della raccolta, nel luogo in cui gli stessi sono prodotti); si statuisce un rinnovato assetto del deposito caratterizzato da una doppia ipotesi di gestione in base alla quale l'imprenditore opererà una scelta utilizzando o un criterio a limite temporale oppure un criterio a limite quantitativo (ma comunque con un termine temporale ancorché esteso). Il criterio temporale prevede l'allontanamento dei rifiuti, indipendentemente dalla quantità e dalla caratteristica di pericolosità, entro tre mesi.

La scelta alternativa consiste nell'allontanamento dei rifiuti entro il limite quantitativo dei valori volumetrici consueti (10 e 20 metri cubi a seconda delle pericolosità o meno dei rifiuti in deposito). In ogni caso, allorché il quantitativo di rifiuti

²³ Materie Prime Seconde.

pericolosi non superi i 10 metri cubi l'anno e il quantitativo di rifiuti non pericolosi non superi i 20 metri cubi l'anno, il deposito temporaneo non può avere durata superiore ad un anno;

Viene tuttavia meno la possibilità per il produttore di affidare la gestione di tale deposito ad un altro soggetto autorizzato alla gestione dei rifiuti.

Nell'art. 184, vengono inclusi, fra i rifiuti speciali, quelli non pericolosi derivanti da attività di scavo.

Per le "terre e le rocce da scavo", se costituiscono sottoprodotti secondo i nuovi criteri, possono essere utilizzate per reinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati purché il loro integrale utilizzo sia certo fin dalla fase della produzione e sia accertato che non provengano da siti contaminati o sottoposti ad interventi di bonifica. Ove la produzione di terre e rocce da scavo avvenga nell'ambito della realizzazione di opere o attività sottoposte a VIA o ad autorizzazione ambientale integrata, la sussistenza dei requisiti dettati al nuovo art. 186, comma 1, del D. Lgs. n. 152/2006 devono risultare da un apposito progetto che è approvato dall'autorità titolare del relativo procedimento; qualora, invece, la loro produzione avvenga nell'ambito della realizzazione di opere o attività soggette a permesso di costruire o a denuncia di inizio attività la sussistenza dei suddetti requisiti devono essere dimostrati e verificati nella relativa procedura.

Con le modifiche apportate al T.U. ambientale rientrano nel regime dei rifiuti sia il coke da petrolio che i rottami ferrosi e non ferrosi.

Contestualmente viene soppressa anche la controversa voce "R14" all'allegato C della parte quarta del D. Lgs. n. 152/2006.

Sul fronte degli adempimenti si registra il ritorno della competenza alle Province per le iscrizioni nell'apposito registro delle imprese che si avvalgono delle procedure semplificate.

Viene reintrodotta l'obbligo di vidimazione dei registri di carico e scarico rifiuti speciali. Tale obbligo era stato abrogato dal DLgs 152/06. I registri dovranno essere numerati, vidimati e gestiti dalle Camere di Commercio territorialmente competenti. Gli obblighi connessi alla tenuta dei registri di carico e scarico si intendono correttamente adempiuti anche qualora sia utilizzata carta formato A4, regolarmente numerata e vidimata.

Per le attività di gestione dei rifiuti costituiti da rottami ferrosi e non ferrosi, gli obblighi connessi alla tenuta dei registri di carico e scarico si intendono, invece, correttamente adempiuti anche qualora vengano utilizzati i registri IVA di acquisto e di vendita, secondo le procedure e le modalità fissate dall'art. 39 del D.P.R. 26 ottobre 1972, n. 633.

In virtù della nuova formulazione dell'art 189, si reintroduce l'obbligo di presentazione del MUD per i produttori di rifiuti speciali non pericolosi derivanti:

- da lavorazioni industriali;
- da lavorazioni artigianali;
- dall'attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi.

Questi produttori, tuttavia, sono esclusi dall'obbligo - esclusivamente in relazione alla produzione di rifiuti non pericolosi - nell'ipotesi in cui non superino i 10 dipendenti.

Sono quindi tenuti all'obbligo i trasportatori dei propri rifiuti pericolosi indipendentemente dalla quantità trasportata.

Il nuovo provvedimento prevede l'istituzione di un sistema informatico di controllo della tracciabilità dei rifiuti, ai fini della trasmissione e raccolta di informazioni su produzione, detenzione, trasporto e smaltimento di rifiuti e la realizzazione in formato elettronico del formulario di identificazione dei rifiuti, dei registri di carico e scarico e del MUD, da stabilirsi con apposito decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare per le categorie sopra citate con obbligo di installazione e utilizzo delle apparecchiature elettroniche.

Riguardo al trasporto dei rifiuti l'unica modifica è la scheda di accompagnamento di cui all'articolo 13 del decreto legislativo 27 gennaio 1992, n. 99, relativo all'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura, la quale è sostituita dal formulario di identificazione previsto dal D. Lgs. 152/06.

L'art. 195 modifica la disciplina di tariffazione per il servizio di gestione dei rifiuti urbani: in particolare, viene attribuito allo Stato il compito di dettare i criteri qualitativi e quantitativi per l'assimilazione ai rifiuti urbani dei rifiuti speciali. Inoltre viene esplicitamente disciplinato l'obbligo dei Comuni di riconoscere una riduzione di tariffa a tutti i soggetti che dimostrino di avere avviato a recupero rifiuti assimilati tramite soggetti diversi dal gestore pubblico del servizio.

Il decreto correttivo dispone che tutti i rifiuti delle aree produttive (compresi quelli che si formano sulle aree a deposito o magazzino), non sono assimilabili agli urbani.

Fanno eccezione alla regola dell'intassabilità i rifiuti che si formano negli uffici, nelle mense, negli spacci aziendali, nei bar e nei locali a servizio dei lavoratori o aperti al pubblico.

Si introduce una nuova disposizione secondo cui gli accordi e i contratti di programma non possono stabilire deroghe alla normativa comunitaria e alla normativa nazionale primaria vigente (art. 206).

All'Albo Nazionale Gestori Ambientali continuano ad iscriversi con una "procedura agevolata" i produttori iniziali di rifiuti non pericolosi che effettuano operazioni di raccolta e trasporto dei propri rifiuti, nonché i produttori iniziali di rifiuti pericolosi che effettuano operazioni di raccolta e trasporto di trenta chilogrammi o trenta litri al giorno dei propri rifiuti pericolosi, «a condizione che tali operazioni costituiscano parte integrante ed accessoria dell'organizzazione dell'impresa dalla quale i rifiuti sono prodotti».

Dalla comunicazione inoltrata alla competente Sezione regionale o provinciale dell'Albo dovrà risultare:

- la sede dell'impresa, l'attività o le attività dai quali sono prodotti i rifiuti;
- le caratteristiche, la natura dei rifiuti prodotti;
- gli estremi identificativi e l'idoneità tecnica dei mezzi utilizzati per il trasporto dei rifiuti, tenuto anche conto delle modalità di effettuazione del trasporto medesimo;

- il versamento del diritto annuale di registrazione, che in fase di prima applicazione è determinato nella somma di 50 euro all'anno, ma che potrà essere in seguito rideterminato.

Per le aziende speciali, i consorzi e le società di gestione dei servizi pubblici, l'iscrizione all'Albo è effettuata mediante apposita comunicazione del comune o del consorzio di comuni alla sezione regionale territorialmente competente ed è valida per i servizi di gestione dei rifiuti urbani nei medesimi comuni.

In linea generale, il Decreto correttivo riconferma l'organizzazione dei sistemi vigenti per la gestione di particolari tipologie di rifiuti, continuando a privilegiare la forma consortile e restituendole la natura di obbligatorietà.

2.2.3 Il D.Lgs. 3 dicembre 2010, n.205

Il Decreto n. 205 del 3/12/2012²⁴ è composto di 39 articoli e di 5 allegati e sostanzialmente approva le modifiche alla Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006, recependo quindi l'ultima direttiva quadro di riferimento (n. 2008/98/CE). Esso rappresenta la seconda importante modifica della Parte IV relativa alla gestione dei rifiuti, dopo la prima modifica apportata dal D.Lgs. 4/2008 ed integra inoltre nella disciplina sul sistema di "tracciabilità elettronica" dei rifiuti (SISTRI), alla quale apporta anche qualche modifica.

Il d.lgs. 205/2010, nel recepire l'ultima "direttiva-quadro" sui rifiuti (2008/98/CE), riscrive alcune regole-cardine della materia e inserisce per la prima volta nel d.lgs. 152/2006, la disciplina sul sistema di "tracciabilità elettronica" dei rifiuti (SISTRI).

Tra le principali novità da subito in vigore (in quanto non richiedenti l'adozione di futuri decreti attuativi), si segnalano le seguenti:

- nella definizione di "rifiuto" non compare più il riferimento all'allegato A della Parte Quarta del d.lgs. 152/2006 (che infatti viene abrogato);
- diventa "detentore" del rifiuto "la persona fisica o giuridica che ne ha il possesso" (questa novità non va sottovalutata, poiché in molti casi potrebbe avere portata "rivoluzionaria" nella ripartizione delle responsabilità fra i vari soggetti coinvolti a vario titolo nella gestione di rifiuti; sarà perciò interessante verificare come sarà interpretata dalla giurisprudenza);
- rientrano espressamente fra le attività di "gestione" anche le operazioni effettuate "in qualità di commerciante o di intermediario"; per queste due ultime figure vengono inoltre introdotte ex novo delle specifiche definizioni (l'"intermediario", in particolare, è definito come "qualsiasi impresa che dispone il recupero o lo smaltimento dei rifiuti per conto di terzi", e comprende anche gli intermediari che non acquisiscono la materiale disponibilità dei rifiuti);
- il criterio della "prevenzione" (comma 5 del nuovo art. 179 Dlgs. 152/06) secondo cui le Pubbliche Amministrazioni dovranno perseguire iniziative

²⁴ Disposizioni di attuazione della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti. Pubblicazione in Gazzetta Ufficiale (n. 288 del 10-12-2010 – Suppl. Ordinario n. 269).

dirette a favorire il rispetto della gerarchia di trattamento dei rifiuti, che vede al primo posto la prevenzione della produzione dei rifiuti, seguita da “la preparazione per il riutilizzo”, “il riciclaggio”, “il recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia” ed infine “lo smaltimento”;

- l’inserimento della “preparazione per il riutilizzo” (art. 180 bis) definita all’art. 183, lettera q), come le operazioni di controllo, pulizia, smontaggio e riparazione attraverso cui prodotti o componenti di prodotti diventati rifiuti sono preparati in modo da poter essere reimpiegati senza altro pretrattamento. E del “riutilizzo”, definito quale qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti. Per il riutilizzo di prodotti e la preparazione per il riutilizzo di rifiuti, la pianificazione è affidata alla Pubblica Amministrazione locale, anche mediante la “costituzione e il sostegno di centri e reti accreditati di riparazione/riutilizzo. Il Ministero dell’Ambiente fornirà un catalogo esemplificativo di prodotti (da avviare a riutilizzo) e rifiuti di prodotti (da avviare a preparazione per il riutilizzo);
- l’ufficializzazione della definizione di “riciclaggio”, inteso come qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i rifiuti sono trattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini. Include il trattamento di materiale organico, ma non il recupero di energia né il ritrattamento per ottenere materiali da utilizzare quali combustibili o in operazioni di riempimento (art. 183, lettera u);
- si prevede il venir meno della controversa categoria delle materie prime secondarie (MPS) “fin dall’origine” (fondato sulla Circolare del Ministero dell’ambiente del 28 giugno 1999);
- cambiano nuovamente i criteri per il “deposito temporaneo”; pur restando alternativo al criterio temporale, il criterio quantitativo viene descritto riferendosi ad un quantitativo di rifiuti “complessivo” per i pericolosi e i non pericolosi, fissato in 30 metri cubi di cui al massimo 10 metri cubi di rifiuti pericolosi;
- viene integralmente riscritta la definizione di “sottoprodotto”, al fine di adeguarla a quella contenuta nella direttiva 2008/98/CE. A questo proposito si segnalano, in particolare, alcune “aperture” che potrebbero favorire, nella pratica, il ricorso a tale categoria, ovvero sia l’espressa previsione che l’utilizzo della “sostanza” od “oggetto” in questione possa avvenire in un “successivo processo di produzione o di utilizzazione”, anche da parte di terzi, e che possa essere preceduto da un ulteriore trattamento, purché quest’ultimo non sia “diverso dalla normale pratica industriale”. La nuova normativa demanda inoltre a futuri decreti ministeriali la fissazione dei criteri qualitativi o quantitativi affinché specifiche tipologie di sostanze o oggetti possano essere considerati sottoprodotti e non rifiuti;
- compaiono per la prima volta, fra le altre, le definizioni di “rifiuto pericoloso”, “rifiuto organico”, “produttore del prodotto” (successive norme ministeriali dovranno infatti disciplinare la cosiddetta “responsabilità estesa del produttore”), “riutilizzo”, “preparazione per il riutilizzo”, “trattamento”,

- “riciclaggio”, “rifiuto biostabilizzato”, “digestato di qualità” e “circuito organizzato di raccolta”;
- è riscritto l’art. 188, d.lgs. 152/2006, norma-cardine sulle responsabilità nella gestione dei rifiuti, anche al fine di adeguarlo all’avvenuta introduzione del SISTRI;
 - si impone al produttore “accidentale” di rifiuti pericolosi di aderire al SISTRI “entro tre giorni lavorativi dall’accertamento della pericolosità dei rifiuti”;
 - si prevede l’obbligo di iscrizione all’Albo gestori ambientali a carico delle imprese che effettuano il trasporto transfrontaliero di rifiuti nel territorio italiano; a questo proposito, si segnala che l’Albo ha già adottato, il 22 dicembre 2010, una specifica Deliberazione contenente “Prime disposizioni applicative per l’iscrizione all’Albo per il solo esercizio dei trasporti transfrontalieri nel territorio italiano di cui all’articolo 194, comma 3, come sostituito dall’articolo 17 del d.Lgs. 205/2010”;
 - si disciplina direttamente – e non più rinviando ad un apposito decreto ministeriale – la gestione dei rifiuti provenienti dalle attività di pulizia manutentiva delle reti fognarie di qualsiasi tipologia (sia pubbliche che asservite ad edifici privati);
 - vengono introdotte specifiche sanzioni connesse all’applicazione dei nuovi obblighi di cui al SISTRI ed integralmente riscritte quelle relative a registri e formulari.

Tra le numerose modifiche ed integrazioni alle definizioni apportate dal decreto, vale la pena sottolineare l’introduzione della definizione di CSS²⁵ a sostituzione di quelle di CDR e CDR-Q, in coerenza con l’abrogazione dell’articolo 229 che articolava le modalità di gestione di detti rifiuti speciali.

Il CSS è il combustibile solido prodotto da rifiuti che rispetta le caratteristiche di classificazione e di specificazione individuate dalle norme tecniche UNI CEN/TS 15359 e successive modifiche ed integrazioni;

La regolamentazione di numerosi ed importanti aspetti è invece demandata dal d.lgs. 205/2010 a futuri decreti ministeriali, che dovranno essere adottati con tempistiche differenziate.

2.2.4 La normativa in materia di Discariche: Il Dgls 36/2003

Attraverso il decreto legislativo n. 36 del 13 gennaio 2003 (cosiddetto decreto discariche), di recepimento della direttiva 1999/31/Ce, il legislatore si è posto i seguenti obiettivi prioritari:

- Assicurare norme adeguate in materia di smaltimento dei rifiuti introducendo misure, procedure e requisiti tecnici per gli impianti di discariche, allo scopo di evitare o ridurre gli effetti negativi sull’ambiente ed i rischi per la salute umana del conferimento in discarica;
- Assicurare un prezzo dello smaltimento in discarica che rifletta i costi reali derivanti non solo dalla costruzione dell’impianto e

²⁵ Combustibile Solido Secondario

dall'esercizio dello stesso, ma anche dalla fase di chiusura e della gestione successiva della stessa. Tale impostazione mira a riequilibrare i costi dello smaltimento in discarica rispetto ai costi delle altre forme di smaltimento.

Nel decreto vengono inoltre riportati, ancorché in modo generico, i criteri per l'ammissibilità dei rifiuti nelle tre definite categorie di discariche, quelle per i rifiuti pericolosi, quelle per rifiuti non pericolosi e per inerti.

Proprio ai fini dell'ammissibilità dei rifiuti in discarica, una precisazione di primaria importanza è quella relativa ai biodegradabili.

Infatti, il decreto ha delineato la necessità di maggiori sforzi di programmazione per le amministrazioni pubbliche competenti (regioni e province) e di corretta ed efficace gestione per gli operatori, allo scopo di ottenere la generale diminuzione del conferimento in discarica dei rifiuti biodegradabili.

La nozione di rifiuti biodegradabili è data all'art. 2 lett. i) del decreto discariche: "qualsiasi rifiuto che per natura subisce processi di decomposizione aerobica o anaerobica, quali ad esempio, rifiuti di alimenti, rifiuti dei giardini, rifiuti di carta e di cartone".

Gli obiettivi di riduzione dei rifiuti biodegradabili.

Ciò che il decreto richiede rispetto ai descritti rifiuti è una significativa riduzione dell'apporto in discarica, allo scopo di prevenire i danni ambientali dovuti all'inquinamento prodotto dai rifiuti conferiti in discarica (art. 1, D.Lvo n. 36/03).

Nel decreto gli obiettivi fissati dalla direttiva sono stati tradotti in un riferimento specifico al peso, come indicato all'art. 5 co. 1 lettere a) b) e c):

- a) entro cinque anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a 173 kg/anno per abitante;
- b) entro otto anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a 115 kg/anno per abitante;
- c) entro quindici anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto i rifiuti urbani biodegradabili devono essere inferiori a 81 kg/anno per abitante.

Inoltre, negli articoli art. 6 co. 1 lett. p) e 7 comma 1, rispettivamente si esplicita il divieto di conferire in discarica i rifiuti con PCI (Potere calorifico inferiore) 13.000 J/kg a partire dal 1/1/2007, e si evidenzia altresì un divieto generale di conferimento in discarica dei rifiuti non trattati. L'impostazione del decreto, al pari di quella della direttiva, è senz'altro fortemente tesa alla riduzione degli aspetti maggiormente negativi connessi allo smaltimento in discarica dei rifiuti putrescibili, quali ad esempio i disturbi olfattivi.

Gli obiettivi fissati dal Decreto devono essere raggiunti a livello degli ambiti territoriali ottimali o, qualora questi non siano stati costituiti, a livello provinciale. Anche se questo obiettivo può essere ottenuto tramite il trattamento termico, il trattamento biologico e il compostaggio giocano un ruolo più importante in questo senso; infatti, il compostaggio è la via più "naturale" per la gestione del rifiuto

biodegradabile, e il suo costo è generalmente inferiore rispetto all'incenerimento – soprattutto se quest'ultimo deve conformarsi alle previsioni della recente Direttiva Incenerimento per l'abbattimento delle sostanze inquinanti.

Già il decreto Ronchi all'art. 19, comma 1, lett. b), aveva previsto la competenza della Regione quanto alla regolamentazione delle attività di gestione dei rifiuti, ivi compresa la raccolta differenziata dei rifiuti urbani, anche pericolosi, con l'obiettivo prioritario della separazione dei rifiuti di provenienza alimentare, degli scarti di prodotti vegetali e animali, o comunque ad alto tasso di umidità, dai restanti rifiuti.

L'art. 24, comma 1, prevede che in ogni ambito territoriale ottimale deve essere assicurata una raccolta differenziata dei rifiuti urbani pari al 35% nel 2003. Infine l'art. 35, co. 1 lett. n), definisce il riciclaggio organico per le parti biodegradabili dei rifiuti di imballaggio: *“riciclaggio organico: il trattamento aerobico (compostaggio) o anaerobico (biometanazione), ad opera di microrganismi ed in condizioni controllate, delle parti biodegradabili dei rifiuti di imballaggio, con produzione di residui organici stabilizzanti o di metano, ad esclusione dell'interramento in discarica, che non può essere considerato una forma di riciclaggio organico”*.

Lo stesso Catalogo europeo dei rifiuti individua espressamente alcune tipologie di rifiuti biodegradabili

Tabella 6: Tipologie di rifiuti biodegradabili.

12.01.19*	oli per macchinari, facilmente biodegradabili (rifiuti prodotti dalla lavorazione e dal trattamento fisico e meccanico superficiale di metalli e plastica)
13 01 12*	oli per circuiti idraulici, facilmente biodegradabili (oli esauriti e residui di combustibili liquidi)
13 03 09*	oli isolanti e termoconduttori, facilmente biodegradabili
20 01 08	rifiuti biodegradabili di cucine e mense (rifiuti urbani (rifiuti domestici e assimilati prodotti da attività commerciali e industriali nonché dalle istituzioni) inclusi i rifiuti della raccolta differenziata)
20 02 01	rifiuti biodegradabili

L'analisi dei codici permette di chiarire che i rifiuti biodegradabili non sono solo quelli urbani: i rifiuti urbani biodegradabili (RUB) sono senz'altro la frazione maggiore dei biodegradabili, in particolare quelli provenienti dalla raccolta differenziata, ma vi è quota di questa tipologia anche fra l'indifferenziato. Si considerano RUB rifiuti in carta e cartone, rifiuti di alimenti, rifiuti di giardini e parchi, rifiuti in legno, rifiuti tessili e rifiuti rappresentati da pannolini e assorbenti.

2.2.4.1 La normativa tecnica di attuazione del decreto discariche.

I criteri di accettazione dei rifiuti in discarica e le modalità di gestione e le procedure di sorveglianza e controllo che il gestore dovrà adottare nella fase operativa, post-operativa e di ripristino ambientale, sono contenuti nel DM del 13 marzo 2003 emanato contestualmente al D.lgs 36/2003 di recepimento della direttiva 1999/31/Ce.

In ordine agli elementi principali ed innovativi contenuti in tale decreto ministeriale, si osserva che esso prevede che già al momento della richiesta di

autorizzazione per la costruzione e l'esercizio dell'impianto dovranno essere presentati un piano di gestione operativa e uno di gestione post-operativa redatti secondo specifici criteri e nei quali dovranno essere individuate le misure tecniche adottate per la gestione della discarica ed i programmi di sorveglianza e controllo messi in atto.

Riguardo ai biodegradabili anzitutto il D.M., all'Allegato 2, punto 2.1, definisce, in aderenza all'art. 2 lettera m) della Direttiva Ce, ma non in modo esaustivo, le tipologie dei rifiuti biodegradabili: "...dovranno essere considerati fra i rifiuti urbani biodegradabili gli alimenti, i rifiuti dei giardini, la carta ed il cartone, i pannolini e gli assorbenti".

L'Allegato prosegue indicando il metodo di campionamento ed analisi per il rifiuto urbano biodegradabile (punti 2.1 e 2.3). È infatti il produttore di rifiuti ad essere tenuto ad effettuare la caratterizzazione di base di ciascuna categoria di rifiuti regolarmente prodotti, che consiste nella determinazione delle caratteristiche dei rifiuti, realizzata con la raccolta di tutte le informazioni necessarie per uno smaltimento finale in condizioni di sicurezza (art. 1 co. 2 del D.M. 13 marzo 2003).

Da notare inoltre che, sempre in riferimento ai rifiuti urbani, caratterizzati da un alto indice di putrescibilità data la massiva presenza di rifiuti a matrice organica, non viene previsto alcun indice di stabilità del rifiuto al fine del suo collocamento in discarica, pertanto essi possono essere ammessi in discarica anche senza alcun pretrattamento, a meno di una semplice selezione, finalizzata ad esempio, alla separazione della frazione secca o di altre tipologie di rifiuti presenti nel rifiuto urbano stesso. Del resto, nella definizione di "*trattamento dei rifiuti*" il D.Lvo in questione, riporta anche la "*selezione*", come tipologia di trattamento, in analogia a quanto previsto nella direttiva.

Per arrivare puntuali alle scadenze previste da decreto discariche occorrerà senz'altro un

primo atto di impulso da parte delle competenti regioni, che dovranno indicare gli indirizzi della politica di riduzione dei rifiuti biodegradabili, da recepire necessariamente attraverso gli strumenti di programmazione provinciale, *in primis* PPGR.

Si segnala che in riferimento agli obiettivi di cui all'art. 5 D.Lvo n. 36/2003 il Ministero dell'ambiente ha elaborato una proposta di decreto Ministeriale, ancora inedita in quanto l'iter di approvazione è in corso, relativa alle discariche di rifiuti, che prevede, nell'ambito della strategia nazionale atta a potenziare il compostaggio, la produzione di biogas ed il recupero di materiali ed energia, obiettivi di riduzione del conferimento di sostanza organica nelle discariche.

La proposta di decreto ha lo scopo di promuovere il trattamento biologico dei rifiuti organici biodegradabili, al fine di eliminarne o ridurne gli effetti negativi sull'ambiente. Vengono definiti, all'art. 3 lettera a) "*Rifiuti organici biodegradabili: i rifiuti di cui all'art. 6, comma 1 lettera a) del D.Lvo n. 22/97 e successive modificazioni, che possono essere stabilizzati mediante trattamento biologico, aerobico e anaerobico*". Una definizione tecnicamente più precisa rispetto a quella del decreto discariche, ma forse troppo ampia.

Il ministero ha poi individuato la procedura, non solo tecnica ma anche amministrativa con riferimento al regime autorizzatorio, per quanto riguarda la produzione e l'impiego del compost di qualità.

La quantità dei rifiuti biodegradabili inviati in discarica può essere ridotta sostanzialmente combinando tre strategie:

- **interventi normativi regionali efficaci:** i dati dimostrano una tendenziale crescita della quantità dei rifiuti urbani biodegradabili inviati in discarica, per una inversione di tendenza appare fondamentale un corretto approccio normativo che, ad esempio proibisca di eliminare i rifiuti di giardino al di fuori della proprietà, preveda di far pagare direttamente l'abitante in funzione delle quantità di rifiuti raccolti... tipologie di soluzioni, attuabili e necessarie, ma non sufficienti;
- **promozione del riciclaggio e del recupero:** il riciclaggio mediante recupero dei materiali e il compostaggio sono tecnologie sviluppate, spesso praticamente poco attuate, e che invece dovrebbero caratterizzare lo smaltimento dei rifiuti biodegradabili, occorrerebbero maggiori incentivi economici nonché semplificazione amministrativa rispetto alle procedure autorizzatorie degli impianti;
- **valorizzazione del recupero di energia:** è un'altra tecnica ben nota per valorizzare i rifiuti. In teoria, tutti i rifiuti possono essere trattati per questa via e ciò permette d'intravedere il rispetto delle esigenze della direttiva.

2.3 Normativa regionale

La gestione dei rifiuti in Sicilia è stata disciplinata da una normativa emergenziale costituita da diverse ordinanze della Presidenza del Consiglio – Dipartimento della Protezione-Civile la prima è l'ordinanza n 2983 del 31 maggio 1999²⁶.

Con tali ordinanze ministeriali è stato nominato il Commissario Delegato per l'emergenza rifiuti in Sicilia nella persona del Presidente della Regione Siciliana, con il compito di predisporre il piano di gestione dei rifiuti.

Si tratta di provvedimenti scaturiti dalla grave crisi determinatasi nel settore dello smaltimento dei RSU avendo assunto la stessa carattere di emergenza igienico-sanitaria con risvolti anche di ordine pubblico.

Tale ordinanza, ha avuto oggetto “Immediati interventi per fronteggiare la situazione d'emergenza determinatasi nel settore dello smaltimento dei rifiuti urbani nelle regione siciliana”, al fine di dar luogo agli interventi in materia di raccolta differenziata, riciclo, valorizzazione, recupero dei rifiuti urbani, produzione di compost di alta qualità e di combustibile derivato dai rifiuti nella necessità di dare una prima risposta, per ambiti territoriali, alla esigenza di realizzare gli impianti più urgenti.

Successivamente, in ottemperanza del Decreto del Consiglio dei Ministri del 16.12.1999, con il quale lo stato d'emergenza determinatosi nella Regione siciliana è

²⁶ Ordinanza n. 2983 del 31 maggio 1999, pubblicata sulla G.U.R.I. n.132 dell'8 giugno 1999.

stato esteso anche al sistema dei rifiuti speciali e prorogato fino a 30 giugno 2000, è stata emanata l'ordinanza n. 3048 del 31.03.2000²⁷

Con tale Ordinanza viene demandato al Commissario Delegato di:

- predisporre il piano di gestione dei rifiuti;
- predisporre il piano delle bonifiche delle aree inquinate;
- adottare misure per prevenire la formazione dei rifiuti, favorendo il riutilizzo degli imballaggi ed il riciclaggio dei beni a fine vita;
- realizzare impianti per la produzione di combustibile derivato da rifiuti;
- promuovere la formazione e l'informazione ambientale;
- attuare la promozione, l'organizzazione di una gestione unitaria dei rifiuti urbani in ciascun ambito territoriale ottimale anche attraverso la costituzione di consorzi o società miste cui partecipano le Province e i Comuni.

Si delinea, in tal modo un nuovo scenario di programmazione, non più incentrato sui provvedimenti di emergenza, ma su una pianificazione a più largo respiro che ha portato all'adozione di alcuni strumenti di programmazione che vengono più avanti elencati e si completa con la redazione Piano di gestione dei rifiuti.

Con l'Ordinanza n. 3072 del 21 Luglio 2000²⁸, in conformità al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 16 giugno 2000, con il quale è stato prorogato fino al 31 dicembre 2001 lo stato d'emergenza in materia di gestione dei rifiuti urbani e speciali, viene imposta l'individuazione e la localizzazione degli impianti a carattere prioritario nonché la definizione degli ambiti e dei sub-ambiti territoriali ottimali di cui gli impianti dovranno essere al servizio. Trattasi prevalentemente di impianti per la produzione di CDR (combustibile derivato dai rifiuti).

Inoltre, il Ministro dell'Interno:

- proroga (art.1) fino alla cessazione dello stato di emergenza i poteri conferiti al Commissario delegato con le precedenti ordinanze;
- dispone che a partire dal 1° gennaio 2001, la tariffa per il conferimento in discarica dei rifiuti urbani provenienti da Comuni che non abbiano realizzato entro il mese precedente sul proprio territorio la raccolta differenziata in misura tale da consentire l'avvio al riciclaggio di frazioni quali carta, plastica, vetro, metalli ferrosi e non ferrosi, legno e al compostaggio della frazione umida dei rifiuti urbani per una percentuale minima del 20 per cento, compresa la raccolta e conferimento al CONAI degli imballaggi primari, secondari e terziari, è maggiorata nella misura dell'1 per cento per ogni punto percentuale in meno di raccolta differenziata rispetto all'obiettivo minimo del 20 per cento.

Preso atto della succitata Ordinanza, la quale all'Art. 6 comma 1 stabilisce la localizzazione degli impianti a carattere prioritario, è stato esitato dalla Commissione

²⁷ Ordinanza n. 3048 del 31 marzo 2000 pubblicata sulla GURI serie generale n. 92 del 19/04/2000.

²⁸ Ordinanza n. 3072 del 21 luglio 2000 pubblicata sulla GURI serie generale n. 175 del 28 /07/2000.

Scientifica ed approvato con D.P.R.S n. 150 del 25.07.2000²⁹ il Documento delle priorità, al fine di avviare rapidamente gli interventi di emergenza anche nel settore impiantistico.

Con ulteriori Ordinanze, lo stato di emergenza fu successivamente prorogato fino al 31 maggio 2006, allorché fu riconosciuta l'attuazione degli interventi prioritari e l'impostazione del piano per il superamento dello stato di emergenza.

Con Ordinanza commissariale n. 1166 del 18.12.2002 è stato approvato il piano di gestione dei rifiuti in Sicilia.

La Commissione europea ha esaminato e convalidato il piano in data 28 maggio 2003, sottolineando «che il piano va nella direzione di una gestione ambientalmente sana dei rifiuti in Sicilia, conformemente alle esigenze delle rilevanti direttive europee, in particolare le direttive 75/442, 91/689 e 94/62» ed invitando «ad impiegare tutti i mezzi necessari per una sua messa in opera efficace».

Il piano si compone di una parte principale, che contiene la parte relativa ai rifiuti urbani (capitoli 5-10), il piano degli imballaggi (capitolo 7.6), la parte relativa ai rifiuti speciali (capitoli 11-17), le azioni di supporto all'attuazione del piano (capitoli 18-22); il piano delle bonifiche; gli allegati tecnici, contenenti i dati, i grafici e le cartografie, nonché i criteri per la costruzione e gestione degli impianti; gli allegati documentali, contenenti i documenti richiamati nel piano e che non sono stati inseriti organicamente nel corpo del piano stesso, ma che sono, comunque, vigenti e che si armonizzano nel piano.

Il Piano comprende, altresì, il cronoprogramma per l'avvio della gestione integrata dei rifiuti, nonché la tempistica prevista per la realizzazione di tutte le società d'ambito.

Con l'Ordinanza n. 3190 in data 22 marzo 2002, furono definite nuove linee guida finalizzate alla attuazione, nonché alla gestione di un sistema che prevedesse di potere realizzare, per l'intera Regione Siciliana, un piano di gestione integrata dei rifiuti solidi urbani.

Su tali basi fu definito il sistema "tipo" di gestione integrata dei rifiuti solidi urbani, che attribuiva, ai soggetti esterni aggiudicatari, la realizzazione e la gestione delle successive fasi del ciclo integrato, consistenti in:

- stazioni di trasferimento, ove i servizi comunali di raccolta rifiuti avrebbero provveduto al conferimento della frazione residua dei rifiuti a valle della raccolta differenziata e dalle quali la società aggiudicataria, gestore del sistema, avrebbe operato il trasferimento dei rifiuti stessi alla fase del trattamento successivo;
- separazione secco/umido, dove i rifiuti sarebbero stati separati meccanicamente in due frazioni: umida e secca.

La frazione umida (contenente componenti di natura biodegradabile) sarebbe stata successivamente sottoposta a trattamento biologico di stabilizzazione, il cui prodotto Frazione Organica Stabilizzata (FOS) sarebbe stato smaltito in discarica controllata o impiegato per ripristini ambientali.

La frazione secca sarebbe stata trasferita al trattamento successivo:

- incenerimento, dove la frazione secca, ad elevato potere calorifico, sarebbe stata impiegata per l'alimentazione di un forno di combustione, a recupero di

²⁹ D.P.R.S n. 150 del 25.07.2000 pubblicato sulla G.U.R.S. n.36 del 4 agosto 2000.

calore e con produzione di energia elettrica. Gli effluenti gassosi originati dal processo di incenerimento sarebbero stati sottoposti a trattamento depurativo fino ai limiti prescritti dalla normativa in vigore;

- smaltimento in discarica controllata dei residui ultimi, alla quale sarebbero state destinate le frazioni umide stabilizzate (come tali ammesse in discarica), le ceneri e le scorie dei forni di incenerimento e i residui dalle operazioni di depurazione dei fumi e gas di scarico degli inceneritori.

Successivi aggiornamenti alla pianificazione regionale in accordo alle previsioni del capitolo 23° del piano di gestione dei rifiuti sono stati:

- il Decreto Commissariale n. 1260/2004: “Aggiornamento del Piano Regionale”;
- l’Ordinanza n.1260- Allegato n.3: “Adeguamento al D.Lgs. 36/2003 dei criteri minimi per la progettazione e gestione delle discariche”;
- l’Ordinanza n. 323 del 25/03/2004: Programma regionale per la riduzione dei rifiuti urbani biodegradabili da collocare in discarica, in attuazione dell’art. 5 del D.Lgs. 36/2003;
- l’Ordinanza commissariale n. 2057 del 11 novembre 2003: “Bozza di piano per la raccolta e il successivo smaltimento degli apparecchi contenenti policlorofenili e policlorotrifenili (PCB/PCT) non soggetti a inventario in Sicilia”;
- l’Ordinanza n. 324 del 25 marzo 2004: il “Programma per la decontaminazione e lo smaltimento degli apparecchi contenenti policlorodifenili e policlorotrifenili (PCB/PCT) soggetti ad inventario e dei PCB/PCT in essi contenuti”.

Sulla base delle Osservazioni del Ministero dell’Ambiente³⁰ al “Programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili in discarica” inserito come aggiornamento al Piano, secondo cui andava eliminata la possibilità di non considerare RUB smaltito in discarica il materiale proveniente da biostabilizzazione dell’umido separato meccanicamente, ed allo scopo di adeguare la programmazione regionale con il Dlgs 152/2006, con l’Ordinanza commissariale n. 1133 del 2006 veniva approvato “l’Adeguamento del Programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili in discarica” costituendo aggiornamento al Piano di Gestione dei Rifiuti in Sicilia.

Con la Legge Regionale n. 2 del 2007 si effettuava un’ulteriore rivisitazione del Piano di Gestione dei Rifiuti in Sicilia, imponendo una riduzione del numero degli ATO rispetto a quelli già definiti con conseguente riavvio delle necessarie consultazioni tra provincia e ATO per l’individuazione dell’impiantistica esistente, delle necessità in termini di produzione delle varie frazioni merceologiche e delle relative future necessità impiantistiche.

Con atto d’indirizzo, trasmesso con nota prot. 9655 del 21 ottobre 2009, il Presidente della Regione proponeva all’Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque l’istituzione di una Commissione per la revisione del Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia.

³⁰ Nota prot.7441 del 15/04/2005

L'Agenzia Regionale per i rifiuti e le acque, in ottemperanza all'atto d'indirizzo di cui sopra, con Delibera n. 40/P del 23/10/2009, istituiva una Commissione composta da esperti e tecnici di provata competenza e professionalità nel settore dell'organizzazione della gestione dei rifiuti.

La Commissione concludeva i lavori in data 30/12/2009 e consegnava la relazione finale al Presidente della Regione, sulla base della quale poteva predisporre ed approvare l'adeguamento del Piano.

Tale relazione finale era suddivisa in tre sezioni, come appresso riportate:

1. raccolta differenziata;
2. situazione delle discariche esistenti e/o in attuazione e degli impianti di trattamento ad esse connessi (situazione transitoria ed a regime);
3. impianti a valle della raccolta differenziata (situazione a regime).

Per ciascuna di esse venivano elaborate una serie di proposte e modalità operative/strategiche rapportate ai tre seguenti specifici scenari:

1. il consolidamento della rete impiantistica comunque da realizzare per la gestione del transitorio, ossia TMB con il recupero di materiali;
2. una differente declinazione del TMB, con possibile produzione di CDR per utilizzo in coincenerimento in parziale sostituzione di altri combustibili, o per utilizzo come combustibile in specifici impianti;
3. la realizzazione di tecnologie di trattamento termico dedicate (inceneritori o tecnologie di trattamento termico non convenzionale).

Con la nota del 5 Giugno 2010, in seguito allo stato di emergenza per lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani venutosi a creare nella provincia di Palermo e sancito dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 16 Gennaio 2009, il Presidente della Regione Siciliana rappresenta la grave crisi determinatasi nel settore dello smaltimento dei rifiuti urbani che ha assunto carattere di emergenza igienico-sanitaria con risvolti anche di ordine pubblico.

In seguito alla nota del 5 Giugno 2010, con OPCM. n. 3887 del 9 luglio 2010 "Immediati interventi per fronteggiare la situazione di emergenza determinata si nel settore dello smaltimento dei rifiuti urbani nella regione siciliana" è stato dichiarato fino al 31 dicembre 2012 lo stato di emergenza nel settore della gestione dei rifiuti in atto nella regione siciliana.

La suddetta OPCM dispone che il Commissario Delegato predisponga diversi interventi tra i quali si segnalano:

- predisporre gli adeguamenti al Piano regionale di gestione dei rifiuti;
- incrementare, in ciascun ambito provinciale, d'intesa con il Presidente della provincia, la raccolta differenziata almeno di carta, plastica, vetro e metalli, al fine di conseguire, entro il 31 dicembre 2011, con l'obiettivo del:
 - 35% di raccolta differenziata;
 - almeno il 50% di raccolta destinata al riciclo;
- realizzare, in ciascun ambito provinciale piazzole per lo stoccaggio delle frazioni raccolte separatamente, impianti per la selezione del multi materiale raccolto separatamente, impianti per il trattamento dei rifiuti

- organici selezionati da rifiuti urbani o raccolti separatamente, al fine di conseguire un elevato livello di protezione ambientale;
- adeguare ovvero realizzare, le discariche necessarie per fronteggiare l'emergenza;
 - realizzazione e messa in esercizio degli impianti di recupero nonché per assicurare lo smaltimento dei sovvalli;

In particolare per gli adeguamenti al Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti, il Presidente della Regione in qualità di "Commissario Delegato", con la Disposizione n. 6 del 30 luglio 2010, istituisce la Commissione di revisione del Piano.

In data 14/10/2010 veniva inviato al Dipartimento della Protezione Civile Nazionale per la giusta intesa, così come prevista dall'art 1 comma 2 dell'OPCM 3887, il documento finale "Revisione del Piano di Gestione dei Rifiuti Solidi Urbani-Linee guida e strategie di intervento"; con nota Prot n° DPC/CG/0085372 del 11/11/2010 la Protezione Civile in seguito all'analisi del documento inviato formulava alcune osservazioni evidenziando

come non sussistevano i presupposti per fornire l'intesa prevista.

Come conseguenza, il Commissario Delegato, con la Disposizione del 20 ottobre 2010, nominava una nuova Commissione di esperti per gli adeguamenti al Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti.

La commissione provvedeva quindi ad aggiornare la Revisione del piano di gestione dei rifiuti solidi urbani recependo le osservazioni del Dipartimento di Protezione Civile e prevedendo altresì:

- la ricognizione dei flussi di rifiuti e dello stato attuale di gestione integrata dei rifiuti solidi urbani;
- la definizione di un nuovo sistema integrato di gestione dei rifiuti urbani;
- la definizione degli obiettivi da raggiungere, articolati in tre fasi: emergenziale, transitoria e di regime;
- la definizione della potenzialità degli impianti necessari alla gestione ed al trattamento dei rifiuti urbani (sulla base dei flussi e del sistema integrato di gestione definiti) a scala provinciale;
- la definizione della potenzialità degli impianti necessari alla gestione ed al trattamento dei rifiuti urbani (sulla base dei flussi e del sistema integrato di gestione definiti) di interesse regionale;
- la pianificazione degli interventi infrastrutturali indispensabili al conseguimento degli obiettivi prefissati;
- la stima di massima di costi per l'infrastrutture previste dal presente piano.

Sulla base delle previsioni della legge regionale 8 aprile 2010 n. 9 in materia di gestione integrata dei rifiuti, il Commissario Delegato – Presidente della Regione ha adottato l'ordinanza n. 151 del 10.11.2011 con la quale sono state introdotte specifiche disposizioni tendenti a scongiurare situazioni di crisi nel sistema di gestione dei rifiuti nel territorio regionale.

Gli obiettivi dell'ordinanza n.151/2011 sono:

1. separare la delicata attività di liquidazione dei Consorzi e/o delle Società d'ambito dalla altrettanto complessa attività finalizzata a garantire la gestione del servizio;
2. scongiurare il rischio, concreto e attuale, di una crisi socio economico ambientale derivante dalla nota situazione di degrado e di inefficienza nella gestione dei rifiuti urbani;
3. anticipare gli effetti della legge 9/2010 nella parte relativa alla gestione del servizio integrato dei rifiuti;
4. riconoscere il ruolo dei comuni quali responsabili del servizio erogato ai propri cittadini;
5. garantire al sistema regionale di gestione integrata dei rifiuti, nel suo complesso, un periodo di efficienza di durata sufficiente ad assicurare il raggiungimento di una condizione di funzionalità sino all'entrata in vigore delle SRR.

2.3.1 La legge regionale n. 9 del 2009 e ss.mm.ii.

Nel 2010 con la soppressione da parte del legislatore nazionale delle Autorità d'Ambito, viene adottata la nuova disciplina della "gestione dei rifiuti e la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati", la quale è stata emanata con la L.R. n. 9 del 08.04.2010, che tende a recepire le disposizioni del D.Lgs. 152/06 e con la finalità di:

- a) prevenire la produzione di rifiuti e ridurre la pericolosità;
- b) promuovere la progettazione di prodotti ed imballaggi tali da ridurre all'origine la produzione di rifiuti, soprattutto non riciclabili, adottando anche le necessarie forme di incentivazione;
- c) promuovere l'informazione e la partecipazione dei cittadini, attraverso adeguate forme di comunicazione, rivolte anche agli studenti delle scuole di ogni ordine e grado;
- d) promuovere il riutilizzo, il riciclaggio ed il recupero dei rifiuti urbani e speciali;
- e) promuovere la raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani e di quelli assimilati agli urbani, adottando in via prioritaria il sistema di raccolta porta a porta e definendo sistemi di premialità e penalizzazione finalizzati ad aumentarne le relative percentuali;
- f) incrementare l'implementazione di tecnologie impiantistiche a basso impatto ambientale, che consentano un risparmio di risorse naturali;
- g) ridurre la movimentazione dei rifiuti attraverso l'ottimizzazione dello smaltimento in impianti prossimi al luogo di produzione, con la garanzia di un alto grado di tutela e protezione della salute e dell'ambiente;
- h) favorire la riduzione dello smaltimento in discarica;
- i) riconoscere il ruolo dei comuni quali responsabili del servizio erogato ai propri cittadini, anche attraverso soggetti diversi, ai sensi dell'articolo 4;
- j) valorizzare la partecipazione dei cittadini, con particolare riferimento a forme di premialità economiche in funzione dei livelli di raccolta differenziata raggiunti;

- k) rendere compatibile l'equilibrio economico del servizio di gestione integrata dei rifiuti con le risorse pubbliche disponibili e con le entrate derivabili dalla riscossione della TARSU o della TIA, avuto riguardo alla necessità di tutelare con misure di perequazione le fasce sociali più deboli e di ridurre l'evasione e la elusione fiscale in materia.

Relativamente agli Ambiti territoriali ottimali, sulla base delle esigenze di efficacia, efficienza ed economicità di cui all'articolo 200, comma 1, lettera f), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, ed in attuazione dei principi di coordinamento della finanza pubblica di cui ai commi 33 e 38 dell'articolo 2 della legge 24 dicembre 2007, n. 244, nonché al fine di consentire il sollecito avvio dell'assetto organizzativo derivante dall'applicazione della predetta legge sono confermati quelli istituiti in applicazione dell'articolo 45 della legge regionale 8 febbraio 2007, n. 2, quali identificati nel decreto presidenziale 20 maggio 2008, e cioè:

- a) ATO 1 - PALERMO;
- b) ATO 2 - CATANIA;
- c) ATO 3 - MESSINA;
- d) ATO 4 - AGRIGENTO;
- e) ATO 5 - CALTANISSETTA;
- f) ATO 6 - ENNA;
- g) ATO 7 - RAGUSA;
- h) ATO 8 - SIRACUSA;
- i) ATO 9 - TRAPANI;
- j) ATO 10 - ISOLE MINORI.

Per la gestione del ciclo integrato dei rifiuti in tali ambiti territoriali ottimali, e in attuazione di quanto disposto dall'articolo 45 della legge regionale 8 febbraio 2007, n. 2, la provincia ed i comuni ricompresi in ciascun ambito territoriale ottimale costituiscono, per ogni ATO, una società consortile di capitali per l'esercizio delle funzioni affidate alla società stessa dalla legge 9/2010. Le società sono denominate "Società per la regolamentazione del servizio di gestione rifiuti", con acronimo S.R.R.

La S.R.R. esercita le funzioni previste dagli articoli 200, 202, 203 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e provvede all'espletamento delle procedure per l'individuazione del gestore del servizio integrato di gestione dei rifiuti, con le modalità di cui all'articolo 15. La S.R.R. esercita attività di controllo finalizzata alla verifica del raggiungimento degli obiettivi qualitativi e quantitativi determinati nei contratti a risultato di affidamento del servizio con i gestori.

La verifica comprende l'accertamento della realizzazione degli investimenti e dell'utilizzo dell'impiantistica indicata nel contratto e nel piano d'ambito, eventualmente intervenendo in caso di qualsiasi evento che ne impedisca l'utilizzo, e del rispetto dei diritti degli utenti. La S.R.R. è tenuta alla trasmissione dei dati relativi alla gestione dei rifiuti con le modalità indicate dalla Regione nonché a fornire alla Regione ed alla provincia tutte le informazioni da esse richieste, ed attua attività di informazione e sensibilizzazione degli utenti funzionali ai tipi di raccolta attivati, in relazione alle modalità di gestione dei rifiuti ed agli impianti di recupero e smaltimento in esercizio nel proprio territorio. Qualora nel piano regionale di gestione dei rifiuti

siano previsti attività ed impianti commisurati a bacini di utenza che coinvolgano più ATO, le relative S.R.R. possono concludere accordi per la programmazione, l'organizzazione, la realizzazione e la gestione degli stessi.

La citata norma, nello stabilire i contenuti del piano regionale dei rifiuti prevede che lo stesso contenga "Linee-guida operative sulla raccolta differenziata" in grado di supportare e guidare gli enti attuatori nella progettazione di dettaglio ed ottimizzazione dei sistemi di raccolta differenziata, privilegiando la raccolta domiciliare integrata, per il raggiungimento dei livelli minimi così fissati:

1. anno 2010: R.d. 20 per cento, recupero materia 15 per cento;
2. anno 2012: R.d. 40 per cento, recupero materia 30 per cento;
3. anno 2015: R.d. 65 per cento, recupero materia 50 per cento.

In sostanza, la legge regionale n. 9 del 2010 contiene alcune importanti elementi, i principali dei quali sono:

- riduzione del numero degli ATO;
- definizione degli obiettivi;
- introduzione di una serie di criteri e strumenti per il controllo dell'attività degli ATO;
- iniziative volte al riciclo ed al riutilizzo di materiale recuperato.

A seguire con l'O.P.C.M. n.3887³¹ è stato rivelato lo stato di emergenza nella regione Sicilia. Il Presidente della regione Siciliana è stato nominato Commissario delegato per il superamento della situazione di emergenza nel settore della gestione dei rifiuti in atto nella regione siciliana.

La disciplina della suddivisione del territorio regionale in bacini territoriali ottimali è stata successivamente integrata dall'articolo 11, comma 66, della legge regionale 9 maggio 2012 n. 26³², il quale ha attribuito all'Amministrazione regionale la possibilità di modificare la delimitazione territoriali. Ciò, al fine di consentire la produzione di economie di scala e di differenziazione dallo svolgimento del servizio di gestione integrata dei rifiuti.

Inoltre, ai sensi della citata disposizione i bacini territoriali ottimali di dimensione diversa da quella provinciale, ulteriormente individuabili nell'esercizio di tale facoltà da parte della regione, non possono superare il numero massimo di otto.

Il limite più importante della legge è che sono rimandati a momenti successivi gli strumenti per l'applicazione della stessa, in particolare il piano regionale di gestione dei rifiuti.

2.3.2 Il Nuovo Piano

Il Nuovo Piano approvato in data 3 luglio 2012 dal Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, adotta i requisiti necessari nell'analisi di gestione dei

³¹ "Immediati interventi per fronteggiare la situazione di emergenza determinatasi nel settore dello smaltimento dei rifiuti urbani nella regione siciliana". Pubblicato sulla G.U.R.I. n. 170 del 23 Luglio 2010

³² Pubblicata sulla G.U.R.I. serie generale n.19 dell'11 maggio 2012

rifiuti (articolo 199 del D.lgs. 152/2006), evidenziando l'attuale ambito geografico interessato, le misure da adottare per migliorare l'efficacia ambientale delle diverse operazioni di gestione dei rifiuti, nonché una valutazione del modo in cui perseguire gli obiettivi e le disposizioni contenute nella parte quarta del presente decreto.

Fra gli interventi previsti dal piano regionale si riportano:

- a) il tipo, la quantità e la fonte dei rifiuti prodotti all'interno del territorio, suddivisi per ambito territoriale ottimale per quanto riguarda i rifiuti urbani;
- b) l'evoluzione futura dei flussi di rifiuti, nonché la fissazione degli obiettivi di raccolta differenziata da raggiungere a livello regionale, fermo restando quanto disposto dall'articolo 205;
- c) i sistemi di raccolta dei rifiuti e impianti di smaltimento e recupero esistenti;
- d) la realizzazione di nuove infrastrutture per gli impianti per i rifiuti in conformità del principio di autosufficienza e prossimità di cui agli articoli 181, 182 e 182-bis e il costo degli investimenti correlati;
- e) l'individuazione dei siti e la capacità dei futuri impianti di smaltimento e trattamento;
- f) il complesso delle attività e dei fabbisogni degli impianti necessari a garantire la gestione dei rifiuti urbani secondo criteri di trasparenza, efficacia, efficienza, economicità e autosufficienza della gestione dei rifiuti urbani non pericolosi;
- g) la stima dei costi delle operazioni di recupero e di smaltimento dei rifiuti urbani;
- h) i criteri per l'individuazione, da parte delle province, delle aree non idonee alla localizzazione degli impianti di recupero e smaltimento dei rifiuti nonché per l'individuazione dei luoghi o impianti adatti allo smaltimento dei rifiuti, nel rispetto dei criteri generali;
- i) le iniziative volte a favorire, il riutilizzo, il riciclaggio ed il recupero dai rifiuti di materiale ed energia, ivi incluso il recupero e lo smaltimento dei rifiuti che ne derivino;
- j) le misure atte a promuovere la regionalizzazione della raccolta, della cernita e dello smaltimento dei rifiuti urbani;
- k) il programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica;
- l) un programma di prevenzione della produzione dei rifiuti, elaborato sulla base del programma nazionale di prevenzione dei rifiuti che descrive le misure di prevenzione esistenti e fissi ulteriori misure adeguate.

2.3.3 Le previsioni

Il piano prevede un monitoraggio continuo finalizzato all'aggiornamento delle infrastrutture realizzate e/o in corso di realizzazione e dell'evoluzione delle attività di raccolta differenziata. Tale monitoraggio permetterà anche di avere un quadro costantemente aggiornato sulle capacità di abbancamento residue delle discariche presenti sul territorio. Prevede, inoltre di attuare interventi per il raggiungimento del 45% di R.D. entro il 2013 ed avviare quelli necessari per il raggiungimento del 65% entro il 2015, ovvero continuare ad attuare il potenziamento del sistema piattaforme di selezione - CCR – Isole ecologiche sulla base delle capacità di trattamento richieste,

qualora fosse necessario, per il conseguimento dei livelli di raccolta differenziata fissati; infine proseguire nella realizzazione, degli impianti di pre-selezione, biostabilizzazione e valorizzazione energetica per il circuito del RUR e delle piattaforme di selezione del secco e degli impianti di compostaggio per il circuito della raccolta differenziata.

Il Sistema di Gestione Integrata Rifiuti (S.G.I.R.) adottato prevede, in ingresso, due flussi principali: il rifiuto indifferenziato ed il rifiuto differenziato.

Il rifiuto indifferenziato destinato ad impianti di trattamento, quali la preselezione meccanica, in grado di separare la frazione secca dalla frazione umida. La frazione secca, suddivisa in carta, plastica, vetro e metalli, verrà avviata al recupero di materia o di energia; la frazione umida verrà avviata ad altri ulteriori processi di trattamento/recupero, quali la biostabilizzazione, per la produzione di FOS.

La frazione umida del rifiuto differenziato destinata ad impianti di compostaggio; mentre la frazione secca del rifiuto differenziato (carta, plastica, vetro e metalli) inviata alla filiera CONAI per il riutilizzo.

La tipologia di schema di gestione adottato, si basa sulle priorità di intervento previste dalla normativa vigente, tenendo conto dell'esigenza di ottenere i massimi risultati in termini di frazioni recuperabili (organico ed inorganico) e di conseguenza minimizzare i flussi da inviare a discarica.

Gli impianti individuati, necessari al sistema di gestione sono:

- impianti di preselezione meccanica del rifiuto indifferenziato;
- impianti di biostabilizzazione della frazione organica del rifiuto indifferenziato;
- impianti di compostaggio della frazione organica da raccolta differenziata;
- discariche;
- impianti per il recupero di materia e di energia dalla frazione secca del RUR.

Sulla base dei dati di produzione di R.S.U., della composizione merceologica tipo dei rifiuti ed in funzione delle percentuali di raccolta differenziata fissate come obiettivi per le diverse fasi temporali previste, il piano riporta le potenzialità di trattamento relative ai diversi impianti per tutte le province siciliane necessarie per la fase di regime. In funzione dello scenario di raccolta differenziata scelto si riportano la stima della produzione di rifiuto per il periodo 2012-2015 e per le due linee di trattamento (il flusso del rifiuto differenziato e dell'indifferenziato), i singoli flussi e di conseguenza la potenzialità di trattamento degli impianti necessari alla selezione, al trattamento ed al conferimento dei R.S.U.

In sintesi i due scenari previsti a livello regionale per i due flussi di rifiuto sono così articolati:

- avvio della frazione secca presso impianti CONAI;
- avvio della frazione umida presso impianti di compostaggio per organico da raccolta differenziata;
- trattamento meccanico-biologico del RUR, presso gli impianti di smaltimento (discariche);

- ulteriore recupero di materia da materiale cellulosico e plastico in uscita dall'impianto di preselezione meccanica. Si tratta di operazioni di separazione di vario tipo (dimensionale, densimetrico, ottico, manuale, magnetico ecc.) variamente combinate, in grado di incidere soprattutto sulle frazioni ad elevato PCI (potere calorifico inferiore), ed integrate da sistemi di valorizzazione.

Infine il Piano individua, le azioni da intraprendere per la gestione del periodo "transitorio" ossia del periodo

necessario perché il sistema entri a "regime", e le caratteristiche che il sistema di gestione dei rifiuti dovrà avere "a regime".

2.3.4 Programma per la riduzione in Sicilia dei rifiuti urbani biodegradabili (RUB) da smaltire in discarica

Il D.Lgs. 36/2003, che recepisce la Direttiva 1999/31/CE, all'art.5, prevede che le Regioni redigano, ad integrazione del Piano regionale di gestione dei rifiuti, un piano per la riduzione dei rifiuti urbani biodegradabili da smaltire in discarica.

La Regione Siciliana ha adottato il proprio programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili con Ordinanza n. 323 del 25 marzo 2004, successivamente inserita nell'adeguamento del piano di gestione dei rifiuti in Sicilia, adottato con Ordinanza n. 1260 del 30 marzo 2004, successivamente pubblicata nella GURS n. 10 dell'11 marzo 2005.

Il presente programma, nel rispetto della superiore previsione normativa, vuole raggiungere, per i RUB, gli obiettivi di riduzione della collocazione in discarica previsti dal comma 1 articolo 5 del D.Lgs. 36/2003 con la tempistica ivi prevista:

- non più di 173 kg/anno vengano smaltiti in discarica per ogni abitante entro il 2008;
- non più di 115 kg/anno entro il 2011;
- non più di 81 kg/anno entro il 2018.

I dati a disposizione, raccolti ed elaborati direttamente dall'Ufficio del Commissario delegato per l'emergenza rifiuti in Sicilia grazie alle campagne annuali di raccolta dati, consentono di determinare a livello provinciale, di ambito territoriale ottimale e comunale i quantitativi di rifiuti urbani biodegradabili raccolti, per singole tipologie di rifiuto urbano, in modo differenziato e non differenziato.

Il rilevamento evidenzia i quantitativi di rifiuti urbani indifferenziati avviati a discarica (differenziati per flussi convogliati direttamente a discarica e flussi che invece vengono avviati a discarica solo a seguito di trattamenti intermedi) e quelli avviati ad impianti di trattamento (frazione umida per la produzione di compost di qualità, separazione e valorizzazione degli scarti cellulosici); non esistono, allo stato, impianti di termovalorizzazione dei rifiuti urbani, anche se nel futuro è previsto che ne vengano realizzati quattro.

Il Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia prevede per i RUB i seguenti tipi di trattamento:

1. compostaggio domestico;
2. raccolta differenziata dei rifiuti biodegradabili per il trattamento nei gli impianti di recupero;

3. trattamento del Rifiuto urbano biodegradabile presente nella frazione residuale a valle della raccolta differenziata tramite la biostabilizzazione e la termovalorizzazione.

Il compostaggio domestico è previsto nel Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia come uno dei migliori sistemi per prevenire la produzione dei rifiuti, tanto che tra gli allegati documentali del Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia, è presente un manuale per la pratica del compostaggio domestico. E', pertanto, necessario attuare, ove possibile, questa pratica, anche perché contribuisce in maniera diretta a diminuire la percentuale di rifiuto urbano biodegradabile che viene smaltito in discarica.

Naturalmente non in tutte le zone della Sicilia è possibile farlo, ma una analisi dell'indice individuale di produzione dei rifiuti indica che viene comunque attuata nelle zone a vocazione rurale (provincia di Enna, Caltanissetta) anche se non si hanno indicazioni precise sull'utilizzo del compostaggio domestico e sulla quantità di rifiuto che non viene in tal modo smaltito in discarica.

Le Autorità d'ambito, nel predisporre ed attuare il proprio piano di ambito in attuazione del piano di gestione dei rifiuti in Sicilia, dovranno dare la massima importanza al compostaggio domestico e dovranno anche attuare tutte le campagne informative necessarie affinché la suddetta pratica venga estesa al maggior numero possibile di cittadini.

Per quanto riguarda la raccolta differenziata, Il Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia indica precisi criteri operativi e modalità gestionali, nonché un preciso cronoprogramma per giungere alla gestione integrata dei rifiuti. In particolare si prevede una gestione integrata dei servizi al fine di superare il concetto di sistema di raccolta differenziata di tipo aggiuntivo al servizio di raccolta del rifiuto indifferenziato: la separazione del rifiuto differenziato a monte e la gestione integrata consentono di diminuire la frequenza di raccolta del rifiuto indifferenziato; viene, infatti, diminuita la fermentescibilità del rifiuto perché viene tolta parte della componente biodegradabile (conferita agli impianti di trattamento al fine di produrre compost di qualità). Le modalità di conferimento, poi, prevedono la possibilità di un sistema misto, da ritagliare sulla tipologia di utenza e sulle caratteristiche del territorio che si vuole servire; in particolare è prevista o una raccolta monomateriale spinta o una raccolta multimateriale leggera (carta contenitore separato, vetro contenitore separato, legno, alluminio e plastica nello stesso contenitore), con l'utilizzo di contenitori speciali per l'umido, a tenuta di odori e provvisti di chiave, dislocati o nei condomini o presso le grandi utenze, in aggiunta a contenitori separati per carta e cartone, in modo che l'imballaggio cellulosico venga sempre raccolto separatamente. È così possibile, per entrambe le tipologie di rifiuto, separare sempre la parte biodegradabile.

Si può quindi assumere che quasi tutto il rifiuto umido e tutto l'imballaggio cellulosico raccolti in modo differenziato siano rifiuti urbani biodegradabili che non vengono conferiti in discarica, dal momento che le modalità di raccolta, essenzialmente monomateriali, garantiscono una presenza di scarti di circa il 6%, percentuale (in linea con la media nazionale) di cui si terrà conto nei calcoli che sono alla base delle relative tabelle.

Al fine del raggiungimento degli obiettivi del presente Programma, è vietato conferire in discarica RUB raccolti in modo differenziato.

2.3.4.1 Identificazione dei rifiuti urbani biodegradabili (RUB)

Il presente programma, in accordo con la strategia nazionale sui rifiuti biodegradabili, prende in considerazione le seguenti sei tipologie merceologiche: rifiuti di alimenti; rifiuti dei giardini; carta e cartone; legno; tessili non sintetici; pannolini ed assorbenti.

L'indagine merceologica presente nel Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia identifica le seguenti categorie merceologiche:

Tabella 7: Categorie merceologiche considerate nel Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia

1	Sostanze organiche e varie	31,37%
2	Carta e cartone	22,84%
3	Tessili e legno	5,49%
4	Plastiche e gomma	15,77%
5	Metalli	2,52%
6	Inerti (vetro, ceramica, pietre)	3,35%
7	Sottovaglio – 20mm	18,66%

Rientrano tra i RUB i rifiuti di cui ai punti 1 (il punto 1 si utilizza in quota parte, cioè solo il 26,37%, dal momento che le sostanze varie sono minoritarie rispetto alle organiche e si possono assumere che siano presenti per non oltre il 5%), 2, 3 (il punto 3 si utilizza in quota parte, cioè solo per tre quarti cioè il 4,12%, dal momento che metà si assume siano tessili di cui solo metà, cioè un quarto del totale siano non sintetici, mentre l'altra metà è legno), 7 (in quota parte, si utilizza come stima la quota parte del rifiuto 1,2,3 sul totale da 1 a 6, cioè il 12,23%), per un stima totale del 65,56% di RUB sul rifiuto prodotto, che non si discosta molto dal 65% che verrà usato nel seguito sia come stima attuale della percentuale di RUB smaltito in discarica sul totale del rifiuto smaltito in discarica, sia come stima della percentuale di RUB sul totale del rifiuto prodotto.

3 IL RUOLO DEI TRASPORTI PER LA GESTIONE INTEGRATA DEI RIFIUTI

3.1 Politiche e strumenti di prevenzione

Il legislatore europeo ha sottolineato il ruolo chiave dei governi regionali e locali all'interno di qualsiasi strategia di promozione di misure atte a realizzare la prevenzione quantitativa e qualitativa dei rifiuti, nonché il recupero degli stessi.

Le esperienze realizzate a livello locale nel nostro Paese dimostrano che è possibile ottenere elevati livelli di efficienza nella gestione dei rifiuti, non solo per limitare gli impatti sull'ambiente e sulla salute umana ma anche per contribuire a sistemi locali di sviluppo ecologicamente, economicamente e socialmente sostenibili.

Una moderna politica di gestione integrata dei rifiuti deve prendere in considerazione tutto il ciclo di vita, dalla produzione dei beni fino alla loro dismissione, individuando, in ogni fase, tutte le possibili azioni che ne evitino o ritardino la trasformazione in residui destinati allo smaltimento.

Quella dei rifiuti è infatti una filiera che origina dalla loro produzione da parte del sistema industriale; passa attraverso la loro raccolta, l'eventuale separazione e/o pretrattamento, il loro recupero o riciclaggio, e termina con lo smaltimento.

Partendo da questo approccio, si ritiene che il problema dei rifiuti vada affrontato per stadi:

1. Riduzione;
2. Restituzione;
3. Raccolta differenziata e consegna differenziata;
4. Recupero di energia dalla restante frazione dei rifiuti mediante sistemi di combustione, con la migliore tecnologia di controllo dell'inquinamento disponibile e pretrattamento;
5. Smaltimento (utilizzo di discariche controllate dotate di adeguati controlli ambientali).

Tutti questi stadi sono ineludibili e si presentano nell'ordine gerarchico indicato, poiché l'efficienza degli stadi superiori si riflette sulle richieste agli stadi successivi. Idealmente, il sistema "perfetto" che coinvolga le politiche industriali di base non porterebbe materiali al quinto stadio, ovvero sarebbe effettivamente a "rifiuti zero". Un sistema del genere non esiste in pratica ma deve essere considerato come una direzione chiara e comune verso la quale dirigersi.

Ciò detto, i primi stadi della filiera di processo, riduzione e restituzione, consegna differenziata e raccolta differenziata sono da considerarsi come essenziali per una corretta gestione del sistema rifiuti. La loro elencazione è a volte considerata solo un'enunciazione di principio a cui riferirsi; al contrario, invece, tutti questi stadi devono essere potenziati concretamente soprattutto attraverso provvedimenti di tipo fiscale e legislativo.

Inoltre, una corretta politica di smaltimento dei rifiuti non deve prescindere da una valutazione di tutto il ciclo di vita del rifiuto e gli stadi prima citati non possono essere considerati disgiunti uno dall'altro. In altre parole si tratta di ragionare in termini di filiera, in modo tale che le proposte avanzate nella pratica tengano conto in modo coerente di tutti i costi e le implicazioni su tutti gli stadi. Questa visione unitaria ha

implicazioni anche sulle condizioni da mettere in atto per aspetti concorsuali e contrattuali, in particolare nel senso che eventuali offerte e contratti siano assolutamente inclusivi degli ultimi due stadi dell'evoluzione del rifiuto, dal pretrattamento e recupero allo smaltimento.

3.1.1 Riduzione: perché prevenire la produzione dei rifiuti

La nuova sensibilità e l'evoluzione normativa maturate a livello europeo e nazionale stanno ponendo in grande rilievo le politiche di prevenzione e minimizzazione della produzione dei rifiuti sia presso le pubbliche amministrazioni sia in diversi settori dell'industria e del commercio.

La gestione dei rifiuti, la cui produzione è costantemente in crescita, è sempre più un costo in termini ambientali ed economici. L'obiettivo è da un lato il necessario disallineamento tra crescita economica e aumento degli scarti da consumi e produzione e dall'altro l'ottimizzazione dei sistemi di gestione ai fini della massimizzazione del recupero di materiali dagli residui prodotti. Tutto questo nel rispetto dell'ambiente e della salute umana.

Tutto ciò è reso sempre più impellente dagli aumenti dei costi di gestione del ciclo ed in particolare della fase di smaltimento dei rifiuti: l'applicazione del decreto legislativo 36/03 di recepimento della direttiva europea 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti renderà un ricordo del passato la possibilità di smaltire in discarica un chilo di rifiuto a pochi centesimi di euro. Anche il decreto legislativo 133/05 di recepimento della direttiva europea 2000/76/CE sugli inceneritori è destinato ad incidere, anche se in misura decisamente inferiore, sui costi di gestione per via di più stringenti requisiti di tutela ambientale riguardanti le emissioni degli impianti. Le nuove norme sulle discariche e sugli inceneritori risultano pertanto incentivanti per le politiche di gestione dei prodotti e dei servizi che minimizzano la produzione e la pericolosità dei rifiuti (prevenzione) e di quelle di gestione dei rifiuti che massimizzano il loro recupero come materia (minimizzazione). All'aumentare dei costi di smaltimento dei rifiuti, produttori e gestori dei rifiuti avranno sempre maggiore interesse economico a sviluppare dette politiche di prevenzione e minimizzazione.

Laddove il produttore ha tutto l'interesse nel contenimento dei propri rifiuti, oltre che per motivi economici perché il mercato seleziona sempre di più i competitori sulla base della qualità ambientale dell'offerta, per chi gestisce i rifiuti, in particolare quelli derivanti principalmente dalle attività di consumo (Comuni e imprese di igiene urbana), prevenirne e minimizzarne la produzione rappresenta oggi la nuova sfida nell'ottica dell'efficienza, efficacia ed economicità del servizio ai cittadini nonché per il raggiungimento della sostenibilità ambientale nella gestione del ciclo, soprattutto nel momento in cui il settore si avvia verso la competizione di mercato.

La nozione di prevenzione non è univocamente definita nella normativa europea, se non per quanto riguarda gli imballaggi. E' possibile fare riferimento ad una definizione di *prevenzione* dell'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) che comprende tutte le azioni che contribuiscono ad allungare la durata di vita dei beni e a ridurre le quantità di rifiuto che si determinano. Le azioni che riducono la quantità di rifiuto destinato a incenerimento o smaltimento in discarica attraverso un più spinto e mirato recupero di materia non vengono considerate azioni di

prevenzione bensì definite come azioni di minimizzazione (o massimizzazione del recupero).

Nella Tabella 8 sono illustrate sinteticamente quali sono le azioni di prevenzione possibili nelle varie fasi del ciclo di vita di un bene/servizio a partire dalla fase di progettazione e produzione sino alla fase di dismissione.

Tabella 8: Azioni di prevenzione nel ciclo di vita di un bene/servizio

Fase di progettazione produzione, distribuzione	Fase di uso	Fase post uso
<p>Produzione eco sostenibile di beni e servizi</p> <ul style="list-style-type: none"> - Progettazione eco sostenibile (quantitativa e qualitativa) - smaterializzazione (informatizzazione; produzione di beni e servizi da usare in condivisione) 	<p>A) Consumo sostenibile di beni e servizi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - in condivisione - informatici - prodotti “verdi” (da eco-design, locali, biologici, “sociali”) - beni durevoli (non mono uso, di vita lunga, riparabili) - beni/parti di beni usati 	<p>Destino all’abbandono del bene</p> <ul style="list-style-type: none"> - Creazione del rifiuto - Gestione: minimizzazione - Gestione: smaltimento
<p>Trasporto, distribuzione e movimentazione eco sostenibile di beni e servizi</p> <ul style="list-style-type: none"> - logistica eco sostenibile (quantitativa e qualitativa) - smaterializzazione (informatizzazione; produzione di beni e servizi da usare in condivisione) 	<p>B) Manutenzione e riparazione</p> <p>C) Rimandare la dismissione</p> <p>B) Manutenzione e riparazione</p> <p>C) Rimandare la dismissione</p>	

In quest’ottica risultano centrali le cosiddette politiche di prodotto, che applicano il concetto di responsabilità del produttore integrando, sin dalla fase della progettazione, il principio dell’internalizzazione dei costi ed in generale delle esternalità derivanti dalla gestione del bene post-consumo. Anche gli altri attori che intervengono nel ciclo bene/rifiuto, dalla fase di distribuzione a quella di consumo hanno comunque degli oneri che dovrebbero essere opportunamente evidenziati nell’ottica di una gestione integrata e sostenibile (principio della responsabilità condivisa).

Alla fine del ciclo di vita, i beni dismessi diventano rifiuti, e rientrano nella fase in cui sono possibili solo azioni di minimizzazione (massimizzazione del recupero di materia e minimizzazione dell’avvio a smaltimento).

Nelle fasi di progettazione, produzione e commercializzazione di un bene o servizio è già possibile intervenire per ridurre gli impatti anche in fase di consumo e di post-uso; le possibili azioni di prevenzione sono in generale:

- a) la progettazione eco-compatibile;
 - b) la smaterializzazione;
 - c) la logistica eco-compatibile.
- a) Con “progettazione eco-compatibile” si vuole intendere tutta una serie di interventi che, sin dalla fase di progettazione di beni o servizi, permettano:
- la riduzione quantitativa di risorse, in particolare non rinnovabili, impiegate per la produzione;
 - il miglioramento qualitativo delle risorse e dei materiali/sostanze impiegati per la produzione, ad esempio:
 - materiali durevoli;
 - materiali biologici e naturali;
 - sostanze non pericolose/dannose per l’ambiente e la salute umana;
 - materiali biodegradabili;
 - materiali riciclati;
 - sostanze e materiali innovativi dal punto di vista ecologico.
 - l’innovazione nella progettazione e nella concezione dei prodotti, favorendone:
 - la riusabilità;
 - la smontabilità;
 - la recuperabilità;
 - la riciclabilità;
 - l’identificabilità dei componenti (per agevolarne la gestione a fine vita).
- b) Con il termine “smaterializzazione” si vuole invece far riferimento:
- da una parte al processo di “digitalizzazione” dell’economia dovuto all’evoluzione dei sistemi informatici e delle telecomunicazioni che hanno permesso la fornitura di prodotti e servizi a ridotto o assente supporto fisico;
 - dall’altra la produzione di beni e l’erogazione di servizi da usare in “condivisione” quali ad esempio l’uso di erogatori alla spina di bevande e detersivi oppure le pratiche di car-sharing.

Anche nelle fasi di trasporto, distribuzione e commercializzazione di un bene o servizio l’attenzione va posta su tutte quelle pratiche che permettano la riduzione della produzione di scarti, quali ad esempio minimizzare l’impiego di imballaggi secondari e terziari.

Nella fase dell’uso di prodotti e servizi i consumatori possono orientare la loro domanda verso beni e servizi telematici ovvero a basso contenuto di materia (ad esempio il tele lavoro o l’utilizzo di servizi pubblici on-line per pratiche burocratiche). E’ altresì possibile l’utilizzo di beni e servizi materiali in modo condiviso (come nel

caso dell'uso di acqua da bere della rete idrica pubblica al posto delle acque minerali in bottiglia, del car-sharing o dei prodotti alla spina).

Inoltre nell'utilizzo di beni durevoli, il consumatore può decidere di ritardarne il momento della dismissione, ponendo attenzione in fase di acquisto alla caratteristiche di efficienza e durata, e curandone la manutenzione in fase d'uso. In quest'ultimo caso risulta importante la disponibilità tecnici e/o centri esperti nelle riparazioni delle specifiche tipologie di beni nonché l'esistenza di reti di scambio di oggetti usati quali ad esempio mercatini e/o reti di solidarietà.

Infine il consumo di prodotti e servizi "verdi" (basati su principi di eco-design, a contenuto sociale, biologici, prodotti con materiali riciclati, che determinano un risparmio energetico ed emissioni meno inquinanti) consente lo sviluppo di un mercato basato sull'impiego di minore quantità di risorse e migliore qualità dei materiali, senza perdita in prestazioni e favorendo il recupero a fine vita. Si ricorda al riguardo l'importante prassi dei cosiddetti "Acquisti Verdi" (Green Procurement). In particolare nel caso della pubblica amministrazione (Green Public Procurement), grazie ai notevoli volumi d'acquisto di beni o servizi, lo sviluppo di una domanda "verde", spesso stimolata da requisiti normativi, può avere un notevole impatto sull'offerta inducendo produttori e fornitori a porre maggiore attenzione alle tematiche ambientali.

Infine, prima di dismetterlo, il consumatore/utente può decidere di riutilizzare il bene per l'identica funzione o per altri usi (ad esempio il riutilizzo di imballaggi).

Nelle fasi di post uso, al termine del ciclo di vita, il bene viene definitivamente destinato all'abbandono e diviene così rifiuto.

Le azioni che attraverso una più spinta raccolta differenziata portano al recupero dei rifiuti come materia riducendone la quantità destinata allo smaltimento vengono definite azioni di minimizzazione del rifiuto.

Per riassumere, una gestione sostenibile del ciclo beni/rifiuti si articola nelle seguenti tre fasi, alle quali la normativa europea assegna un ordine gerarchico di preferibilità:

- 1) prevenzione della formazione di rifiuto, con interventi in fase di progettazione/produzione/distribuzione e in fase d'uso, che permettono di ottimizzare l'uso di beni e servizi e di ritardarne la trasformazione in rifiuti;
- 2) minimizzazione del rifiuto, che riduce la destinazione a smaltimento dei massimizzandone il recupero di materia;
- 3) smaltimento (con tutte le garanzie per la salute e per l'ambiente) dei rifiuti residui non ulteriormente recuperabili.

3.1.2 Restituzione

Al fine di interpretare correttamente le misure possibili in questo ambito è necessario ricordare che la produzione della frazione umida (rifiuto organico) è sufficientemente stabile mentre ciò che fluttua maggiormente è la quantità e la qualità degli imballaggi primari e secondari. Per ridurre il flusso destinato alle forme finali di smaltimento è possibile agire su diverse leve quali:

- a. la reintroduzione di vuoti a rendere in vetro (Figura 1) e l'imposizione di una tassa cauzionale anche per i contenitori in altro materiale al fine di disincentivarne il conferimento nella parte indifferenziata del rifiuto e/o il loro abbandono in ambiente. È necessario considerare che l'uso di alcune tipologie

di imballaggi, soprattutto di plastica, è economicamente conveniente in quanto il costo cui si fa riferimento è quello di produzione e non quello di smaltimento.



Figura 1: Vuoti a rendere in vetro

È evidente, per contro, che il costo di smaltimento è superiore a quello del materiale vergine, notoriamente economico nel caso della plastica. A ciò va aggiunto il costo relativamente elevato per selezionare in maniera efficiente i diversi polimeri utilizzati al fine di recuperarne la materia per la produzione di beni in plastica riciclata.

- b.** la promozione di punti vendita di beni liquidi sfusi “alla spina” (Figura 2) . In questo caso, molti prodotti possono essere venduti sfusi ed imbottigliati nei contenitori che il cliente porta con sé e riempie di volta in volta. Allo stato attuale, gli impianti sono prevalentemente dedicati ai detergenti liquidi e all’acqua, ma la tecnologia può trovare spazio anche per altre bevande liquide o prodotti in polvere. Al termine del rifornimento, il distributore emette uno scontrino riferito al solo costo del prodotto e non a quello del contenitore.

Questa soluzione richiede una pianificazione dettagliata per far fronte ai problemi che pone, come quello dell’assenza di garanzia che il prodotto erogato sia effettivamente quello preferito o la necessità di incentivare questa pratica effettuando degli sconti sul prodotto. Per questo motivo questa soluzione è più immediatamente applicabile da parte di catene di grande distribuzione che vendano anche prodotti a proprio marchio. In questo caso, infatti, il venditore corrisponde anche al produttore dei beni facilitando i processi decisionali necessari ad attuare il piano.

Esperienze in tal senso sono già state attuate da alcune catene di distribuzione in diverse zone d'Italia e solo nel Trentino Alto Adige oltre 100 punti vendita di catene alimentari hanno introdotto distributori alla spina. Anche la vendita di acqua alla spina è stata introdotta in diversi punti vendita. Azioni in tal senso sono state incoraggiate da diverse amministrazioni locali, prevalentemente al Nord Italia, ma non mancano buoni esempi al Sud.



Figura 2: Punto vendita di detersivo sfuso “alla spina”

Al fine di incentivare i commercianti a sposare azioni di riduzione negli imballaggi, lì dove esistono programmi per la riduzione a monte, sono stati avviati programmi che prevedono la possibilità di usare un marchio appositamente coniato ai fini promozionali. In questo modo, chi aderisce all'iniziativa sfrutta il vantaggio di una promozione del proprio esercizio da parte delle stesse amministrazioni e può usare i diversi gadget previsti dall'iniziativa.

Per quanto riguarda i piccoli negozi o centri commerciali con difficoltà di spazi per ospitare grandi contenitori dei prodotti sfusi sono state evidenziate in alcune realtà due possibili soluzioni. Una prima, rivolta soprattutto alle amministrazioni comunali, consiste nel far girare un furgone appositamente attrezzato con contenitori per la vendita sfusa dei prodotti per la casa (Figura 3). Il mezzo mobile diventa un semplice punto vendita ambulante.



Figura 3: Furgone appositamente attrezzato con contenitori per la vendita sfusa dei prodotti per la casa

Una seconda soluzione consiste invece, nel fornire ai negozianti appositi espositori ideati per ospitare un certo numero di contenitori per la vendita sfusa dei prodotti. Nonostante il progetto sia oggi focalizzato soprattutto su detersivi, è già in fase di elaborazione la distribuzione di acqua e latte. L'idea dei "negozi leggeri" ha il duplice vantaggio di ridurre considerevolmente la quantità di imballaggi usati e di promuovere detersivi a base naturale e con maggiore biodegradabilità e minor impatto ambientale complessivo.

Al fine di incentivare queste iniziative, i comuni possono promuovere e concedere un premio economico in forma di sgravio fiscale sulle tasse di esercizio per chi contribuisce alla riduzione della produzione di rifiuti. Gli stessi negozianti possono partecipare ad un programma di riduzione e riuso degli imballaggi secondari e per un loro corretto conferimento finale. Va comunque evidenziato come, in entrambi i casi, le modifiche di calcolo per il pagamento dei servizi legati allo smaltimento dei rifiuti urbani sarebbero già un buon incentivo alla riduzione complessiva di ciò che si destina allo smaltimento finale.

- c. sostituzione degli imballaggi a perdere in soluzioni applicative già disponibili come cassette per il settore ortofrutticolo e imballaggi per elettrodomestici a rendere in sostituzione di quelli in polistirene e polistirolo e riduzione degli imballaggi per le bibite soprattutto nell'ambito della ristorazione collettiva.

Il primo settore che propone cassette ribaltabili in polipropilene con un ciclo di vita di 7 anni in sostituzione di quelle a perdere. A tutt'oggi il sistema è stato adottato da circa 750 aziende in tutta Italia. Data la particolarità del sistema, l'azienda fornisce l'intero pacchetto che comprende la consegna, il ritiro e la pulizia del prodotto. Quando le sponde sono abbattute, inoltre, il

volume è pari a quello originario consentendo un'ottimizzazione del sistema di trasporto al ritiro.



Figura 4: Cassette ribaltabili per il settore ortofrutticolo

Per quanto riguarda gli imballaggi per elettrodomestici, è stato elaborato un sistema analogo al precedente (prodotto in materia plastica distribuito e raccolto dalla stessa azienda) ma finalizzato a risolvere il problema degli imballaggi degli elettrodomestici soprattutto di quelli più ingombranti.

Per quanto riguarda la riduzione degli imballaggi alimentari usati nel settore della ristorazione collettiva, sono molteplici le aziende che operano nel campo dell'erogazione di bibite alla spina che consentono ampi risparmi in termini di produzione di imballaggi.

In tutti questi casi si potrebbe agire con accordi di programma con i distributori, attraverso una tassazione maggiore nel caso d'uso di materiali a perdere o anche attraverso l'obbligo graduale della loro sostituzione soprattutto nelle zone a emergenza rifiuti e sotto commissariamento. In queste aree sarebbe inoltre utile intervenire anche sulle stoviglie (piatti, bicchieri, posate) monouso al fine di rendere maggiormente competitive quelle in amido di mais, cartone e legno rispetto a quelle di plastica normalmente in commercio (Figura 5). L'uso di questi prodotti monouso in campo alimentare è un elemento chiave per la ristorazione collettiva dal momento che consente di poter conferire l'intero prodotto (scarto alimentare, posate, piatte e bicchiere) alla linea destinata al trattamento della materia organica (i.e. biodigestione e/o compostaggio) sottraendo volumi e pesi alla frazione destinata allo smaltimento.



Figura 5: Stoviglie riutilizzabile in ceramica

Calcolare il costo dello smaltimento sulla base della reale produzione di rifiuti, è un fattore chiave per rendere maggiormente convenienti dal punto di vista economico comportamenti volti alla riduzione dei rifiuti ed alla raccolta differenziata.

3.1.3 Raccolta differenziata e consegna differenziata

Dalle migliori esperienze gestionali fin qui verificate emerge che il classico sistema di raccolta stradale fondato sulla presenza di cassonetti dedicati non consente di gestire e verificare né l'aspetto quantitativo né quello qualitativo del materiale conferito. Al contrario, il sistema di raccolta domiciliare ottimizzato si è dimostrato particolarmente efficace a colmare entrambe queste lacune dal momento che il ritiro da parte dell'operatore delle diverse frazioni raccolte separatamente consente il controllo diretto quali-quantitativo del rifiuto. Scelte gestionali di questo tipo intraprese con successo in diverse provincie italiane tanto al nord che al sud, hanno dimostrato il vantaggio in termini di riduzione del rifiuto prodotto e miglioramento della qualità delle diverse frazioni merceologiche raccolte separatamente.

A fronte di un ovvio aumento del costo di raccolta, che però corrisponde ad un aumento occupazionale, il sistema domiciliare consente la vendita al CONAI dei materiali raccolti a prezzo pieno ed un minor costo per lo smaltimento della frazione residuale. Questi plus economici sono sufficienti a compensare l'aumento del costo della raccolta. È importante ricordare come anche in questo caso l'integrazione della raccolta domiciliare con il sistema di tariffario consente una migliore gestione economica del servizio. Qualora le condizioni urbanistiche e/o territoriali non dovessero consentire l'applicazione di questo sistema gestionale, è possibile verificare l'opportunità di applicare una o più tecnologie disponibili per raggiungere buone rese di raccolta differenziata di qualità.

Si ritengono, inoltre, indispensabili anche interventi miranti allo sviluppo di un mercato locale delle materie prime seconde (mps) anche attraverso il loro utilizzo nello stesso settore. Se non si fanno bene i conti con il mercato, fare la raccolta differenziata può rilevarsi solo un inutile spreco di denaro pubblico dovendosi poi trovare a smaltire in discarica materiale su cui tanto si è speso per differenziare.

3.2 Le tecnologie di potenziale interesse

Per la gestione dei rifiuti sono sempre validi gli obiettivi tipici di crescita sostenibile che fanno affidamento su:

- riduzione della creazione dei rifiuti;
- riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero dell'energia.

Si tratta delle quattro "R", entrate formalmente nel nostro ordinamento legislativo con il decreto Ronchi del 1997, ma che nella realtà devono ancora in gran parte essere attuate. Il tutto al fine di minimizzare la creazione di rifiuti all'interno di nuove strategie che si affidano alla gestione del ciclo di vita di ciascun prodotto o materiale, rafforzando comunque la responsabilità dei produttori. Parallelamente, occorre che i maggiori costi di tali processi vengano scaricati in maniera più efficace sulle tariffe della gestione dei rifiuti, al fine anche di sensibilizzare il consumatore a favore del riciclaggio e del recupero energetico, oltre che alla minimizzazione della creazione di rifiuti.

L'analisi delle "best practices" in Europa, in particolare della Germania, mostra con chiarezza come il mix ottimale di gestione dei rifiuti per annullare completamente il ricorso in discarica sia:

- 50-60% differenziata (da destinare al riciclo ed al compostaggio);
- 40-50% di termovalorizzazione (con recupero termico ed energetico).

Rispetto ai Paesi con la più efficiente gestione dei RU, l'Italia si mostra in grave ritardo per gli scarsi livelli di recupero energetico e l'eccessivo conferimento in discarica. Le migliori esperienze europee ci dicono che il recupero termico rappresenta un pilastro fondamentale nell'ottimizzazione del ciclo dei rifiuti. Ostacolare il recupero energetico, nel rispetto degli standard di efficienza energetica ed ambientale, significa alimentare il conferimento in discarica con gravi danni per l'ambiente, senza considerare che la saturazione delle discariche autorizzate rende più complicata la gestione dei rifiuti e aumenta il rischio di smaltimenti illegali.

La corretta gestione dei RU non può pertanto prescindere da livelli adeguati di recupero termico, e di conseguenza azzerare il conferimento in discarica.

Per una corretta combustione dei RU è opportuna la loro trasformazione in CSS, tramite i trattamenti meccanico/biologici che devono garantire i requisiti tecnici ed ambientali per la gestione della combustione.

3.2.1 Il pretrattamento del Rifiuto Urbano Residuo

Gli impianti di trattamento biologico rappresentano una fase di trattamento intermedio dei rifiuti urbani indifferenziati residui dalla raccolta differenziata. Permettono il recupero energetico di una frazione ottenuta tramite diversi trattamenti che possono limitarsi alla semplice triturazione e separazione della frazione fine, o arrivare a trattamenti più spinti di preparazione di CSS.

La scelta dipende dalle diverse alternative d'uso (forni dedicati, co-incenerimento, co-combustione, ecc.) e dal tipo di combustore utilizzato.

Il pretrattamento del rifiuto indifferenziato residuo a valle delle raccolte differenziate, attraverso processi di trattamento meccanico biologico (TMB), può avvenire con diverse modalità, esse sono funzione di fattori e scelte di gestione essenzialmente relative a:

- qualità del rifiuto indifferenziato da trattare;
- massimizzazione più o meno spinta del recupero di materia dal processo rispetto al recupero di energia;
- tecnologia dell'eventuale processo di combustione a valle del pretrattamento;
- flussi residui destinati a smaltimento in discarica;
- prestazioni ambientali del sistema complessivo di gestione dei rifiuti e dei singoli impianti;
- costi di investimento e gestione per il sistema complessivo di gestione dei rifiuti e dei singoli impianti.

Ovviamente, tutti i fattori sopra indicati sono correlati uno all'altro e la loro definizione, nel contesto del sistema di gestione dei rifiuti previsto per un territorio, deve essere effettuata con attenzione al quadro complessivo che risulta così definito e alla compatibilità fra loro dei diversi segmenti di servizi e impianti che lo vanno a comporre.

Attualmente, una delle criticità del sistema regionale per la gestione del RUR è la necessità di integrare, in numero, capacità e tipologia, i sistemi di pretrattamento del RUR. E' importante intervenire drasticamente sulla fermentescibilità dei rifiuti da collocare in discarica, dal momento che gli impatti principali del sistema-discarica sono collegati al conferimento di materiali biodegradabili ed alla conseguente produzione di gas-serra (solo in parte intercettati dai sistemi di captazione del biogas) e percolati a forte aggressività chimica. Uno dei principi cardine della riduzione degli impatti dei siti di abbancamento finale è relativo alla stabilizzazione delle componenti fermentescibili, come si evince d'altronde dalla lettura complessiva delle disposizioni conseguenti al D.Lgs n.36/2003, ed in particolare dagli obiettivi di riduzione progressiva dei RUB da collocare in discarica;

1. essere dotata di buona "scalabilità", ossia la capacità di dotare ogni area regionale di sistemi di trattamento senza incorrere in diseconomie;
2. mantenere il sistema flessibile, laddove la flessibilità va intesa in due direzioni:
 - accogliere ed accompagnare la crescita progressiva della RD, convertendo parte delle capacità operative al trattamento di frazioni provenienti dalla RD;
 - rispondere alla variazione delle condizioni di contesto, adattandosi ad esempio ad estrarre anche dal RUR ulteriori materiali da inviare a valorizzazione d'uso, quando le condizioni di mercato lo consentono.

Dai punti 1 e 2 si evince che i sistemi di semplice tritovagliatura, che comportano una semplice riduzione volumetrica, non sono adatti a garantire l'ottimizzazione del sistema e la rispondenza a tutte le necessità strategiche. La loro adozione, anche quando integrati da sistemi di temporanea inertizzazione chimica (calcitazioni e simili) va dunque intesa come approccio transitorio, da fare evolvere verso sistemi completi di stabilizzazione (degradazione della componente organica) e recupero.

I sistemi di trattamento del RUR dovrebbero garantire la riduzione della fermentescibilità del RUR da collocare a discarica, e con ciò stesso della tendenza alla produzione di biogas e percolati a forte aggressività chimica. Ciò sia in un'ottica di gestione del transitorio, ossia mentre le raccolte differenziate delle frazioni organiche non sono ancora a regime, che a pieno sviluppo delle raccolte differenziate, allo scopo di garantire comunque la stabilizzazione delle frazioni organiche sfuggite alla intercettazione delle raccolte specifiche.

Ne risulta la necessità di prevedere una rete di impianti di pretrattamento "a freddo" (trattamento meccanico-biologico o TMB) in modo da rispondere pienamente ai requisiti di cui sopra. In effetti la stabilizzazione è in grado di determinare abbattimenti complessivi della tendenza alla produzione del biogas e riduzioni complessive del peso dei materiali abbancati dal 20-30% (sole perdite di processo, associate alla riduzione drastica della fermentescibilità delle componenti biodegradabili) fino al 70-80%, integrando alla stabilizzazione delle componenti fermentescibili ulteriori processi di recupero sulle frazioni di sopravaglio.

I sistemi di TMB, grazie alla relativa velocità di allestimento rispetto ad impianti di valorizzazione energetica dedicati, sono elementi essenziali della strategia intesa a gestire il transitorio e fare evolvere da subito il sistema regionale di gestione RUR.

Sono connotati da altri specifici aspetti positivi, quali:

1. flessibilità di impiego, intesa come la possibilità di convertire progressivamente le sezioni di trattamento biologico in linee per il compostaggio o la digestione anaerobica di frazioni organiche, accompagnando la crescita delle raccolte differenziate senza sostanziali investimenti aggiuntivi;
2. scalabilità, intesa come la possibilità di conseguire buone economie di scala, in impianti basati comunque su tecnologie di processo e di presidio ambientale efficaci, anche a basse capacità operative (poche migliaia o decine di migliaia di tonnellate/anno, corrispondenti a bacini di utenza di alcune decine o centinaia di migliaia di abitanti);
3. possibilità di essere integrati sia a strategie di recupero di materia dal rifiuto urbano residuo (RUR - es. mediante sistemi combinati di selezioni densimetriche, dimensionali, ottiche, ecc. integrate da trattamenti accessori quali ad esempio le granulazioni per estrusione delle componenti plastiche) che di recupero energetico (mediante la integrazione di sezioni di digestione anaerobica sulle frazioni organiche da selezione meccanica, e/o la produzione di CSS), il che li rende adattabili al variare del quadro strategico, regolamentare e di politiche ambientali.

Una ulteriore valutazione è legata alla previsione del D. Lgs. 36/03 di divieto di conferimento a discarica di materiali ad elevato potere calorifico (PCI > 13 MJ/kg). Tale previsione stimola ad individuare da subito sistemi che allontanino dal RUR le frazioni ad elevato potere calorifico, quali materiali cellulosici e plastici, e ad esplorare da subito le possibilità ed opportunità delle filiere di valorizzazione di tali materiali. Nel seguito si presenta quindi un sintetico inquadramento delle diverse tecnologie di pretrattamento di rifiuti urbani che risultano attualmente disponibili nel panorama nazionale per la gestione dei flussi residui a valle delle raccolte differenziate, riferibili essenzialmente a:

- processi di selezione/stabilizzazione;
- processi di bioessiccazione.

i quali producono CSS in uscita con caratteristiche diverse.

3.2.2 Il recupero energetico

Le possibilità di incenerimento dei rifiuti dopo la conversione in CSS, risiedono in:

- impianti dedicati per la combustione dei rifiuti (con o senza recupero termico).
- centrali termoelettriche alimentate a carbone;
- cementifici;

Tuttavia, la combustione dei CSS nelle diverse tipologie di impianto assume caratteristiche molto diverse in funzione:

- dei diversi processi tecnici di combustione;
- della diversa destinazione dei residui della combustione;
- del diverso grado di sostituzione di combustibili fossili.

La crescita della produzione di CSS, comporta numerosi benefici: sul ciclo di gestione dei rifiuti. I benefici associati al maggior uso del CSS sono molteplici:

- evitare il conferimento in discarica dei rifiuti;
- consentire un aumento della raccolta differenziata;
- contribuire al riciclo di materia;
- disporre di quei rifiuti non compatibili con la raccolta differenziata;
- stimolare l'attuazione della raccolta differenziata della frazione umida organica;
- ridurre i consumi di combustibili fossili, in particolare di pet coke e carbone, nei grandi impianti termici;
- incrementare la produzione di elettricità da fonti rinnovabili;
- ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera, per la parte biodegradabile di cui si compone il CSS.

Le caratteristiche del CSS più importanti sono legate al:

- potere calorifico (P.C.I.);
- contenuto in acqua;
- contenuto in ceneri;
- contenuto in zolfo e cloro.

Questi valori variano in base alle fonti (abitazioni, uffici, ecc...), al sistema di raccolta (RU misti, separati alla fonte), ed al trattamento adottato (vagliatura, separazione, essiccazione).

In generale, per l'aspetto, relativo alla composizione del combustibile, in letteratura si ricavano i seguenti valori riportati nella seguente Tabella 9.

Tabella 9: Composizione percentuale del CSS

T i p o d i r i f i u t o	Q u a n t i t à (%)
R i f i u t i o r g a n i c i	4 5
A l t r o	3 1
T e s s i l i	2
C a r t a e c a r t o n e	1 3
P l a s t i c a	9

Per quello che riguarda invece il potere calorifico, per i combustibili derivati sono riportati in letteratura valori di PCI che variano dai 17 ai 25 MJ/kg.

La termodistruzione

Per termovalorizzazione si intende un sistema di gestione dei rifiuti che permette di sfruttarne il potere calorifico e trasformare il calore sprigionato dalla loro combustione in energia elettrica. Pertanto, un termovalorizzatore è in realtà un inceneritore, dal quale

tuttavia si distingue per la fase di recupero energetico. Questo tipo di impianti sono delle vere e proprie centrali elettriche che utilizzano i rifiuti solidi urbani adeguatamente trattati, il CDR (combustibile derivato dai rifiuti), come combustibile per produrre calore o energia o entrambi (sistemi cogenerativi).

La termovalorizzazione del rifiuto residuo, in particolare per quanto attiene alla frazione secca dotata di buon potere calorifico, è importante come sistema per minimizzare il ricorso alla discarica. Tale opzione risulta residuale rispetto al recupero di materia e va attuata solo per i rifiuti per i quali non è tecnicamente o economicamente sostenibile una qualsiasi forma di riciclaggio.

L'incenerimento permette una notevole riduzione dei materiali da conferire in discarica: i residui solidi sono il 32.9 % in peso rispetto alla quantità di rifiuto entrante e circa il 10 % in volume. L'incenerimento risulta perciò una soluzione molto efficace per lo smaltimento dei rifiuti solidi e, attraverso l'utilizzo di opportune tecniche di abbattimento degli inquinanti negli effluenti prima della loro immissione nell'ambiente esterno, è possibile contenere l'impatto ambientale ben al di sotto dei limiti imposti dall'attuale normativa.

La politica dell'Unione Europea prevede il superamento della discarica come principale strumento per lo smaltimento dei rifiuti, puntando molto di più sul riciclaggio e sulla riduzione in volume tramite incenerimento.

Utilizzo nelle centrali elettriche

Il CSS. può essere utilizzato come combustibile, per produrre energia in centrali elettriche. Va considerato a questo proposito, l'eventuale residuo metallico presente nel combustibile alternativo CSS che comporterebbe un ostacolo all'utilizzo dei residui di combustione sotto forma di ceneri e scorie. Attualmente vi sono vari esperimenti di processo in fase di attenta valutazione tecnica.

Impiego nei cementifici

L'utilizzo di CSS nei cementifici, costituisce una soluzione efficace sotto il profilo ambientale così come sotto quello energetico. Tali impianti comportano un consumo di fonti fossili: i combustibili alternativi destinati ai cementifici, perciò, non costituiscono alcuna nuova pressione sull'ambiente, né maggiori impatti ambientali rispetto alle tradizionali pratiche di combustione di combustibili fossili o rinnovabili.

Anzi, l'utilizzo di CSS nei cementifici determina limiti autorizzati alle emissioni più stringenti rispetto al caso dei cementifici che utilizzano combustibili fossili tradizionali.

Inoltre, la peculiarità dei cementifici è quella di inglobare nel clinker in cottura gran parte dei composti non volatili che si sprigionano dalla combustione dei combustibili, i quali vengono fissati nel clinker e nel prodotto finale senza pregiudicarne in alcun modo le caratteristiche né presentando il rischio di successivi rilasci, in sostanza il combustibile viene consumato al 100 % nel processo di utilizzazione termica.

Per questi motivi, l'utilizzo di CSS nei cementifici pare sostenibile sia sotto il profilo tecnico sia sotto quello ambientale ed anzi risulta una pratica, come testimoniato dall'ampia diffusione in numerosi Paesi Europei.

Si riportano di seguito alcune considerazioni relative all'utilizzo del CSS nelle cementerie:

- presso le cementerie vengono utilizzati solamente rifiuti compatibili con il processo produttivo e che non modificano la qualità del prodotto;
- le attività che si svolgono in una cementeria sono gestite in qualità e ogni operazione effettuata può essere ricostruita a posteriori;
- le emissioni di un forno da cemento sono verificabili agevolmente;
- le alte temperature di esercizio, i tempi di permanenza dei gas di combustione a tali temperature e l'atmosfera ossidante, propri del forno da cemento, sono ideali per un corretto recupero dei rifiuti, senza che si modifichi l'impatto emissivo;
- il percorso del rifiuto che viene portato in cementeria è facilmente tracciabile e, una volta conferito, il rifiuto stesso subisce un trattamento definitivo e non dà origine a ulteriori scarti di lavorazione;
- l'incenerimento del rifiuto in impianti dedicati (inceneritori) comporta sempre la produzione di altro rifiuto (ad esempio scorie e ceneri), che spesso viene conferito in cementeria dove viene recuperato come materia;
- l'impiego di rifiuti nei forni da cemento, come detto, non determina un incremento dell'impatto emissivo, mentre l'avviamento di un inceneritore dà origine a emissioni che prima non esistevano;
- l'utilizzo di combustibili alternativi legati ai rifiuti consente di risparmiare combustibili fossili non rinnovabili, che per la quasi totalità vengono importati.

3.2.3 Smaltimento in discarica

La discarica dei rifiuti è il luogo dove vengono depositati in modo non selezionato i rifiuti solidi urbani e tutti i rifiuti che non è possibile riciclare, o utilizzare come combustibile nei termovalorizzatori. Anche una società educata alla minore produzione di rifiuti, al loro massimo riutilizzo e riciclaggio, non potrà mai fare a meno di un certo numero di discariche e centrali di termovalorizzazione.

La normativa italiana vigente recepisce la direttiva europea 99/31/CE, che prevede tre tipologie differenti di discarica:

- Discarica per rifiuti inerti
- Discarica per rifiuti non pericolosi (tra i quali gli RSU, Rifiuti Solidi Urbani)
- Discarica per rifiuti pericolosi

Ogni discarica è progettata per un determinato tipo di rifiuti, dunque potrà accogliere – salvo modifiche successive – solo quella particolare tipologia; inoltre, essendo predisposta ad accogliere un volume determinato di rifiuti, ha una vita necessariamente limitata. Anche le procedure di trattamento e di messa a dimora dei rifiuti devono essere eseguite in modo da non compromettere la sicurezza di chi vi opera e da non favorire fenomeni di inquinamento.

Per quanto riguarda la classificazione viene, nuovamente, riproposta quella indicata dalla deliberazione 27 luglio 1984; questo per consentire il confronto delle informazioni con quelle fornite negli anni precedenti, almeno fino quando non saranno

ultimate le procedure di adeguamento degli impianti a quanto previsto dal D.Lgs 36/2003.

Il D.Lgs 36/2003 prevede che l'autorità competente approvi i piani di adeguamento delle discariche esistenti alla data di entrata in vigore dello stesso, e fissa il termine finale per l'ultimazione dei lavori che, comunque, non potranno protrarsi oltre la data del 16 luglio 2009. Solo dopo tale data si potrà, quindi, avere la certezza che tutte le procedure siano giunte a conclusione ed il quadro impiantistico sia conforme ai requisiti fissati dalla direttiva 99/31/CE.

Nel provvedimento di approvazione del piano di adeguamento, l'autorità competente deve, inoltre, inquadrare la discarica in una delle nuove categorie (rifiuti inerti, rifiuti non pericolosi, rifiuti pericolosi). Allo stato attuale le discariche di prima categoria per cui è stata adottata la nuova classificazione sono 141 su un totale di 269 discariche in esercizio nel 2007.

Il numero degli impianti per rifiuti urbani attivi, nel 2007, è diminuito di 34 unità rispetto al 2006, confermando la tendenza già evidenziata nell'ultimo quinquennio; a chiudere sono soprattutto le discariche di piccole dimensioni a vantaggio di grandi impianti a servizio di aree geografiche più estese. La modernizzazione del sistema ha comportato, inoltre, che negli impianti operativi, in maniera sempre più diffusa, siano stati installati sistemi di recupero energetico del biogas che consentono di recuperare consistenti quote di energia già nella fase di gestione della discarica. Del totale degli impianti operativi censiti nel 2007 circa 163 sono dotati di tali sistemi.

3.3 Applicazione della tariffa-recupero delle somme

La Confederazione Elvetica ha sviluppato un consolidato sistema tariffario PAYT (Pay as you throw, ovvero Paghi quanto butti) che ha generato, dagli anni 1992/1993, una diminuzione nella produzione di spazzatura del 15 per cento a fronte d'un aumento di popolazione pari al 3,9 per cento. Decine di chilometri più a sud, a Milano, seconda capitale d'Italia, tutto o quasi è rimasto fermo invece al sistema TARSU (tassa sui rifiuti solidi urbani), che si impone usando come solo parametro di calcolo la superficie dei locali d'abitazione o d'attività dove possono aver origine i rifiuti. Col decreto Ronchi, anno 1997, anche l'Italia accoglieva una direttiva UE mirata a sostituire dal primo gennaio 1999 la TARSU con la tariffa di igiene ambientale (TIA, suddivisa in parte fissa e variabile, quest'ultima o puntuale, la più precisa ma complessa), con l'obiettivo di far pagare agli utenti esattamente per quanto usufruivano del servizio.

Il circolo virtuoso messo in moto dall'applicazione di tariffe puntuali, al sacco, è cosa sicura, almeno per i vicini svizzeri: in Svizzera la percentuale dei rifiuti riciclati, soprattutto vetro, alluminio, carta, metallo e certi imballaggi in plastica è cresciuta notevolmente in seguito all'introduzione di questo sistema di tariffazione. Non solo: il sistema PAYT ha portato ad una responsabilizzazione dei cittadini sul fronte riciclo e al sorgere di pressioni ai fornitori stessi perché riducessero al minimo imballaggi e prodotti usa e getta. In Svizzera oggi i tubetti di dentifricio, ad esempio, sono venduti senza scatola.

E'la legge del consumo critico, il commercio ha cambiato da un lato imballaggi e contenitori perché le persone lasciavano nei negozi scatole ed extra imballaggi e, dall'altro, ha iniziato ad utilizzare contenitori multiuso in plastica per la distribuzione ai

negozi di frutta, verdura, latte, eccetera, che possono essere usati per tanti giri logistici diventando elemento di marketing verde. Meccanismo virtuoso, che trova esempi anche in altri Paesi e città del vecchio continente.

Il regolamento TARSU milanese ad esempio specifica che l'importo che ogni utente deve pagare dipende da quanto l'AMSA (l'azienda di servizi ambientali locale) spende per raccolta e smaltimento rifiuti: ma pochissimo si fa per spiegarlo alla cittadinanza.

Col sicuro placet popolare: l'88% degli intervistati residenti in comuni nei quali viene applicata la tassa PAYT - sono dati ottenuti da uno studio commissionato dalla conferenza svizzera dei direttori delle pubbliche costruzioni, della pianificazione del territorio e della protezione dell'ambiente (DTAP) - ritiene tale principio equo e l'87% giudica i costi ragionevoli.

4 L'OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE INTEGRATA DEI RIFIUTI NELLA LETTERATURA TECNICA

Il problema della gestione integrata dei rifiuti ha assunto già da alcuni anni, a livello internazionale, una rilevanza notevole fra le problematiche di salvaguardia ambientale e sviluppo sostenibile. La stessa comunità europea ha da tempo ribadito una strategia che stabilisce un ordine di priorità per lo smaltimento dei rifiuti con particolare attenzione alla prevenzione, seguita dalla promozione del riciclaggio e della riutilizzazione, dalla valorizzazione e infine dall'ottimizzazione dei metodi di smaltimento finale per i rifiuti che non possono essere riutilizzati.

La raccolta dei rifiuti solidi urbani ha un impatto significativo sul traffico delle aree urbane. Una crescente consapevolezza tra i cittadini e una maggiore attenzione da parte delle amministrazioni comunali e gli enti gestori viene rivolta sugli effetti che la raccolta e il trasporto dei rifiuti urbani hanno sulla congestione del traffico, inquinamento atmosferico ed acustico, ed effetto serra.

Nonostante questa chiarezza di intenti, in alcune aree del paese il problema dei rifiuti, dal punto di vista operativo, è stato totalmente trascurato o gestito con interventi sporadici e casuali, con un ritardo nella percezione e soprattutto nella gestione del problema le cui conseguenze negative si stanno oggi scontando in modo assai grave. È opportuno ricordare che secondo i dati forniti dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2012) in Italia, circa il 70% dei rifiuti solidi urbani complessivamente prodotti viene ancora smaltito in discarica.

Nella maggior parte dei comuni ubicati in Sicilia (e più in generale nelle regioni dell'Italia meridionale), il problema è aggravato da un tasso sempre crescente della produzione di rifiuti, per la mancanza di impianti di trattamento e smaltimento in prossimità delle aree urbane e da un comportamento inadeguato della maggior parte dei loro cittadini.

Al fine di ottenere una corretta pianificazione nella gestione dei rifiuti è indispensabile ottimizzare il sistema di raccolta differenziata e recupero dei materiali, attraverso la quantificazione dei rifiuti presenti in ogni punto di raccolta, l'identificazione delle diverse tipologie di frazioni componenti i rifiuti raccolti, il numero e la capacità dei mezzi adibiti alla raccolta e le caratteristiche della rete stradale. A monte di quanto detto si deve procedere alla scelta di idonei siti atti ad ospitare gli impianti di trattamento e smaltimento, con l'obiettivo primario di ridurre al minimo essenziale l'utilizzo delle discariche, che rappresenta la soluzione più facile, ma con più elevato impatto ambientale.

Un piano di gestione integrata dei rifiuti è costituito da più variabili e quindi, se si vogliono migliorare l'efficienza e l'impatto ambientale di un piano, i punti d'intervento sono diversi, tra questi quello del trasporto e dell'impatto del trasporto.

Le fasi di raccolta e trasporto sono il punto di contatto tra i produttori di rifiuti (stabilimenti residenziali, commerciali e industriali) e il sistema di gestione, e questo rapporto deve essere gestito con attenzione per garantire un sistema efficace (Karadimas et al., 2007).

Al riguardo, nel seguito, verranno esaminate alcune metodologie che sono state adottate in diversi studi condotti in Italia, in Europa e nel mondo, i quali hanno reso possibile un miglioramento di una o più delle componenti che formano il piano di

gestione integrata dei rifiuti. Ovviamente il miglioramento di una o più componenti non fa che migliorare la sostenibilità dell'intero piano.

L'obiettivo di tale capitolo è quello di presentare una sintesi dei contenuti dei diversi studi e delle diverse pubblicazioni scientifiche in materia, in riferimento alle diverse tipologie di rifiuto, ma soprattutto alle differenze e analogie tra sistemi di gestione simili, ma applicati a contesti territoriali differenti.

. In questo caso l'obiettivo è di illustrare i contenuti degli studi condotti, i diversi ambiti di applicazione, i differenti scenari presi in considerazione e confrontati, la natura e l'origine dei dati utilizzati.

4.1 La pianificazione strategica del trasporto dei rifiuti su scala regionale

Uno studio atto a migliorare un sistema integrato dei rifiuti è realizzato a Taiwan che si trova nella regione metropolitana di Taipei. Tale studio, condotto da Ni-Bin Chang e Y. T. Lin (1997), ha avuto, come obiettivo, il riassetto del piano di gestione dei rifiuti dell'area metropolitana di Taipei. È stato proposto di portare benefici agendo in tre direzioni.

In primo luogo ragionando su grande scala, ovvero regionalizzando il sistema di gestione dei rifiuti includendo i centri di riciclaggio, i termovalorizzatori, le stazioni di trasferimento, gli impianti di trasformazione e le discariche, con un vantaggio economico di scala e una riduzione dei costi di gestione.

In secondo luogo, centralizzando gli investimenti per migliorare la tutela della qualità ambientale, riducendo i costi delle misure di prevenzione dell'inquinamento.

In terzo luogo, regolamentando gli impianti, riducendone il numero e riducendo di conseguenza i costi dovuti all'occupazione.

La realizzazione di un piano di gestione rifiuti su larga scala è stata ostacolata molte volte dalla burocrazia. Ciò perché gli enti locali hanno effettuato scelte diverse gli uni dagli altri, difficilmente conciliabili tra loro. A questa difficoltà di coordinamento va aggiunta la non rara incompetenza degli amministratori che gestiscono il piano di gestione dei rifiuti.

Lo scopo dello studio portato avanti da Ni-Bin Chang, (1997) fu quello di mettere a punto uno strumento analitico in grado di aiutare i decisori ad adottare scelte opportune nella gestione dei rifiuti su grande scala. Per riuscire a creare questo strumento analitico fu utilizzato un modello "mixed integer programming model", che permette di ottimizzare la localizzazione degli impianti.

Detto studio ha creato una serie di scenari con differenti metodologie di smaltimento e trattamento del rifiuto. E' stato così possibile effettuare valutazioni sulla convenienza di una scelta rispetto ad un'altra. Questi scenari sono stati rappresentati utilizzando un GIS.

Nello studio si è cercato di rispondere ad alcune domande, quali:

- Le strutture presenti sul territorio sono sufficienti per gestire i rifiuti prodotti?
- Qual è la localizzazione ottimale degli impianti in relazione alle considerazioni economiche?
- Quali interventi potrebbero essere presi per favorire il programma di gestione di rifiuti in ambiti territoriali ottimali?
- Qual è lo scenario ideale da adottare per la gestione integrata dei rifiuti su grande scala, per l'intera area considerata?

La prima analisi è stata effettuata usando il GIS ed in particolare un'applicazione chiamata *Spatial Analysis*. All'interno del sistema GIS sono state inserite ed individuate tutte le caratteristiche del territorio, comprese le vie di comunicazione, le tipologie di trasporto presenti, le caratteristiche fisiche, le destinazioni d'uso e i costi di esproprio dei terreni. Una volta inseriti tutti gli input sono state determinate le possibili localizzazioni degli impianti. La scelta della loro localizzazione è scaturita dai seguenti quattro criteri:

- la vicinanza ad una zona industriale;

- la vicinanza ad un asse viario importante per garantire una migliore facilità di conferimento del rifiuto.
- la preferenza di luogo ove tra l'impianto e la zona residenziale vi fosse una zona di verde;
- l'assenza di rischi nella zona di localizzazione dell'impianto.

Sulla base di tali criteri, il GIS può essere interrogato per determinare i siti idonei ed escludere quelli che non soddisfano i prerequisiti decisi.

Per creare il modello sono stati definiti una serie di parametri economici e fisici. I parametri economici includono i costi operativi di incenerimento e conferimento in discarica, costi di trasporto, costi di riciclaggio e ricavi dovuti al riutilizzo del rifiuto.

Nell'analisi condotta analisi sono stati identificati due tipologie di costi di trasporto.

Il costo primario, che è quello del trasporto del rifiuto dalle aree di raccolta agli impianti di trasferimento, e il costo secondario che è quello del trasporto del rifiuto dalle stazioni di trasferimento agli impianti di trasformazione o di gestione.

Oltre ai parametri economici ci sono quelli fisici che si riferiscono o a caratteristiche del territorio (tipologia di terreno, distanza dalle reti viarie, ect.) oppure a parametri energetici quali la quantità di energia elettrica che è possibile generare da un impianto (questo associato agli impianti di termovalorizzazione).

Stabiliti i parametri, è stato applicato il modello LINDO, software che utilizza un risolutore che permette di trovare una soluzione ottimale. LINDO (Linear, Interactive and Discrete Optimizer) è un efficace software per la risoluzione di problemi di programmazione lineare, intera e quadratica.

In Figura 6, dove viene rappresentata l'area studiata suddivisa in zone e dove sono stati collocati gli impianti e le città.

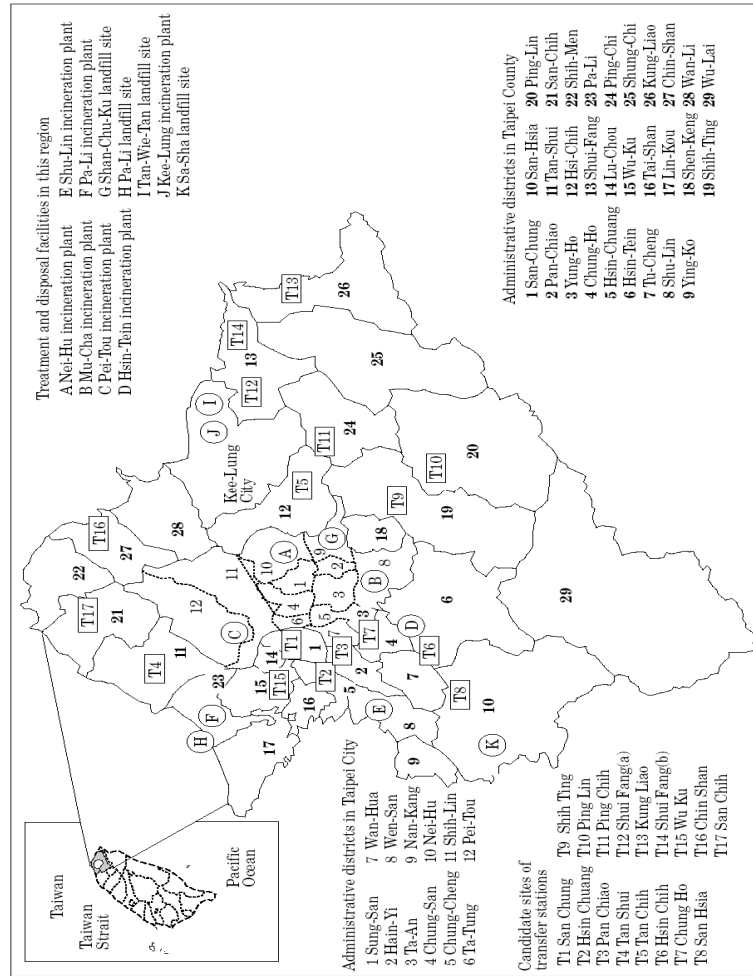


Figura 6: Rappresentazione dello territorio analizzato nello studio. (Ni-Bin Chang and Y. T. Lin, 1997)

Una volta creato il GIS ed applicato il software, lo studio fatto da Ni-Bin Chang (1997), ha portato all'analisi di vari scenari. I risultati ottenuti nei vari scenari sono stati riportati in tabelle. Un esempio di output derivante da uno scenario è riportato nella Figura 6. Dallo studio emergono dati rilevanti quali: il costo di trasporto, il costo del personale, il costo della raccolta differenziata etc.

TABLE 24. SOME ECONOMIC INDICATORS OF WASTE CASES

	Case 1			Case 2			Case 3		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Total objective function value (NT\$/day)*	60 574 680			14 946 340			14 020 530		
Total objective function value (NT\$/day)**	67 442 325			27 397 566			28 405 156		
Period	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Total transportation cost (NT\$/day)	929 584	1870 865	1875 121	2 164 920	3 197 285	3 820 033	2 164 920	3 223 133	3 820 111
Total construction cost of transfer stations (NT\$/day)	211 342	74 141	0	361 766	70 835	5 905	361 766	72 459	5 241
Total operational cost (NT\$/day)	3 269 809	3426 175	3426 273	6 015 321	7 213 879	7 338 550	6 015 321	7 462 315	7 338 550
Total recycling cost (NT\$/day)	0	22 609 304	59 969 460	0	0	0	0	0	0
Total income by electricity sale (NT\$/day)	2 245 234	2 355 469	2 355 469	4 179 688	5 222 656	4 830 903	4 179 688	5 535 156	4 830 903
Total recycling income (NT\$/day)	0	9 248 948	16 985 800	0	0	0	0	0	0
Tipping fee (NT\$/ton)*	496	3 385	8042	553	613	647	553	609	647
Amortized construction cost of all system facilities (NT\$/day)	1 824 026	2 471 312	2 572 307	2 858 504	4 801 747	4 990 975	3 221 861	5 180 243	5 382 522
Average amortized construction cost of all system facilities (NT\$/ton)	418	511	450	362	560	510	384	569	523
Tipping fee (NT\$/ton)**	914	3 896	8 493	915	1 173	1 157	936	1 178	1 170

Figura 7: Esempio di una tabella che mostra i risultati ottenuti da uno scenario analizzato. (Ni-Bin Chang and Y. T. Lin, 1997)

Un altro ampio studio di pianificazione strategica è stato svolto anche in Giappone (Kagawa et al., 2007). Esso si pone l'obiettivo di esaminare le ripercussioni che ha un piano di gestione rifiuti su una regione.

In Giappone vi è un grande quantità di flussi di rifiuti industriali che si spostano da una regione all'altra e tra una città e l'altra come si evince in Figura 8.

Da questa emerge che i rifiuti industriali sono concentrati in massima parte nella parte nord di Kyusyu e nella parte occidentale della regione di Tohoku.

Nello studio viene evidenziato che negli ultimi anni, dopo i negoziati di Basilea, il Giappone è stato costretto a mandare rifiuti pure in Cina.

Lo studio si è proposto di rispondere alle seguenti domande:

- Quali sono i flussi e quali sono le loro caratteristiche?
- Come si può creare un modello capace di gestire i flussi interregionali e internazionali?

Il problema è stato affrontato partendo da uno studio (Nakamura and Kondo, 2002) che proponeva un utile sistema di input-output dei rifiuti (WIOA) che però aveva due limitazioni: il numero delle tipologie di rifiuto doveva essere pari al numero di metodi di trattamento, ogni tipologia di inquinante poteva essere trattata con un solo tipo di procedura. A quest'ultima limitazione è stato possibile ovviare grazie ad un potenziamento del modello Duchin (1990) che ha permesso di poter togliere tale vincolo. E' stato deciso di affiancare a questo modello uno di ridistribuzione multi-regione che integrava i processi di trasformazione. Grazie a questo modello multi-regione si sono quindi potute determinare sia le quantità di rifiuto trasformate che le emissioni scaturite dal processo, e ricavare conclusioni di ordine economico. Queste trasformazioni intermedie possono influire significativamente nella gestione dei rifiuti regionali.

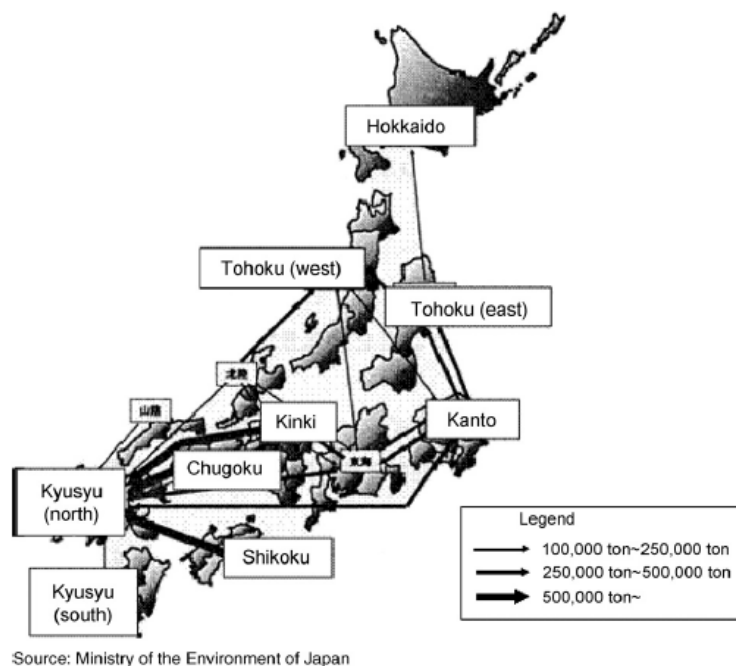


Figura 8: Flussi interregionali di rifiuti industriali. (Kagawa et al,2007).

Per il modello utilizzato sono stati utilizzati dati presi da tabelle che si riferiscono al 1995. I dati si riferiscono sia alle quantità di rifiuti prodotti (tonnellate) che in termini economici, cioè in termini di costo di smaltimento e ricavo ottenuto dal riciclaggio. Le tabelle utilizzate danno informazioni a livello intraregionale e interregionale.

In Giappone i dati sono consegnati dagli enti locali alle 47 prefetture che li elaborano. La computazione dei materiali intermedi e dei fattori produttivi per le attività del trattamento dei rifiuti sono stati ricavati o attraverso dati consegnati dai vari impianti o sono stati ricavati indirettamente, considerando l'utilizzo di energia richiesta per la produzione di un prodotto o considerando le quantità di materia prima consumata nel processo.

I dati relativi al trasporto, che erano richiesti dal modello, sono stati presi dalle 47 prefetture, che conoscendo il numero dei mezzi, la capacità di carico ed i punti di partenza e di arrivo dei mezzi sono in grado di elaborare tutti i dati relativi. I dati tabellati sono suddivisi rispetto alle nove regioni.

I risultati che sono stati trovati grazie all'applicazione del modello evidenziano la relazione che c'è tra produzione di rifiuti nella singola regione e capacità delle regioni stesse di trattarlo; in più viene stabilito il rapporto del flusso di rifiuto tra le regioni.

Dopo aver rielaborato i dati forniti dal modello sono state create una serie di tabelle che mostrano i benefici degli scenari elaborati paragonati allo stato attuale.

Tabella 10: Dati trovati dopo le elaborazioni eseguite. (Kagawa et al,2007).

	Regional final consumption patterns										Total	
	Regional waste treatment differences between the actual ones and the complete intraregional treatments (tonnes)											
	Hokkaido	Tohoku	Kanto	Chubu	Kinki	Chugoku	Shikoku	Kyusyu	Okinawa			
Hokkaido												
Incineration	-157	4	207	12	17	28	4	11	1	127		
De-hydration	-253	-35	610	22	103	292	15	28	1	783		
Sun-drying	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Machine-drying	-9	-2	20	0	4	9	0	1	0	23		
Oil-water separation	-1	5	62	7	8	3	2	5	0	91		
Waste-neutralizing	-409	573	873	20	20	13	5	18	1	1,113		
Waste-shredding	-218	39	140	38	94	11	19	16	1	140		
Waste-compressing	-4	0	1	0	1	0	0	0	0	-2		
Waste-classifying	-14	0	1	0	1	0	0	0	0	-12		
Waste-melting	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
Waste-cutting	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Waste-composting	-5	-1	12	0	2	7	0	0	0	16		
Other treatments	-1359	12,378	22,287	1,471	1,932	942	330	1,006	69	39,056		
Total	-2432	12,962	24,214	1,571	2,181	1,305	375	1,085	72	41,333		
Tohoku												
Incineration	994	-1,701	29,568	3,628	3,029	1,155	617	1,744	137	39,172		
De-hydration	167	-4,051	11,305	649	797	221	118	396	30	9,632		
Sun-drying	0	-12	10	0	0	0	0	0	0	-1		
Machine-drying	3	-86	185	10	12	3	2	6	0	134		
Oil-water separation	37	-113	968	145	121	48	26	75	6	1,312		
Waste-neutralizing	448	-3,602	2,916	887	491	203	122	313	30	1,808		
Waste-shredding	192	-1,646	13,326	470	490	157	83	270	20	13,363		
Waste-compressing	17	-14	491	52	49	18	9	27	2	652		
Waste-classifying	7	-77	413	8	8	3	2	5	0	369		
Waste-melting	11	-5	343	38	36	13	7	20	2	465		
Waste-cutting	7	0	241	27	24	9	5	13	1	328		
Waste-composting	2	-78	195	9	10	3	2	5	0	149		
Other treatments	598	-24,484	29,013	3,104	2,077	868	498	1,281	111	13,066		
Total	2482	-35,868	88,974	9,027	7,146	2,702	1,490	4,155	340	80,448		

I dati ricavati dal modello hanno reso possibile la formulazione di varie considerazioni un esempio uno dei risultati trovati è quello riportato in Tabella 11, dove viene illustrata la produzione di rifiuto e le capacità di smaltimento del rifiuto stesso regione per regione.

Tabella 11: Descrizione dei rifiuti trattati nelle varie regioni. (Kagawa et al., 2007).

Regional waste treatments	Regional final consumptions										Total
	Hokkaido	Tohoku	Kanto	Chubu	Kinki	Chugoku	Shikoku	Kyushu	Okinawa		
Hokkaido	6039 (69.6)	385 (4.4)	1,326 (15.3)	259 (3.0)	379 (3.0)	97 (1.1)	49 (0.6)	137 (1.6)	9 (0.1)	8,681 (100.0)	
Tohoku	219 (2.0)	7,335 (65.6)	2,477 (22.1)	318 (2.8)	445 (4.0)	128 (1.1)	64 (0.6)	191 (1.7)	14 (0.1)	11,211 (100.0)	
Kanto	1094 (1.7)	2,021 (3.1)	53,081 (81.0)	2,684 (4.1)	3,110 (4.7)	1,094 (1.7)	588 (0.9)	1,745 (2.7)	140 (0.2)	65,534 (100.0)	
Chubu	270 (1.6)	457 (2.7)	3,192 (18.7)	10,380 (60.7)	1,641 (9.6)	395 (2.3)	199 (1.2)	517 (3.0)	52 (0.3)	17,102 (100.0)	
Kinki	351 (1.2)	533 (1.8)	3,649 (12.2)	1,522 (5.1)	2,512 (72.0)	822 (2.8)	449 (1.5)	968 (3.2)	80 (0.3)	29,885 (100.0)	
Chugoku	135 (1.3)	234 (2.2)	1,836 (17.2)	610 (5.7)	1,209 (11.3)	574 (5.9)	245 (2.3)	626 (5.9)	34 (0.3)	10,689 (100.0)	
Shikoku	78 (1.4)	137 (2.4)	1,172 (20.5)	345 (6.0)	809 (14.1)	258 (4.5)	258 (4.5)	318 (5.5)	26 (0.5)	5,729 (100.0)	
Kyushu	104 (0.7)	192 (1.3)	1,662 (11.2)	502 (3.4)	1,142 (7.7)	624 (4.2)	215 (1.4)	10,369 (69.7)	77 (0.5)	14,886 (100.0)	
Okinawa	2 (0.2)	3 (0.2)	45 (3.8)	7 (0.6)	21 (1.8)	7 (0.6)	2 (0.2)	26 (2.2)	1080 (90.5)	1,194 (100.0)	
Total	8292 (5.0)	11,317 (6.9)	68,439 (41.5)	16,626 (10.1)	30,266 (18.4)	9190 (5.6)	4374 (2.7)	14,895 (9.0)	1511 (0.9)	164,911 (100.0)	

Note: The parentheses denote the contribution of regional final consumption to regional total waste treatment (%).

Nello studio si è cercato di individuare la tipologie di trattamento più opportuno per lo specifico rifiuto, valutando anche l'aspetto economico del trattamento.

Il modello ha mostrato che, se la gestione dei rifiuti viene eseguita all'interno della regione produttrice, si ha un beneficio ambientale in quanto non vi è spreco di risorse, come avverrebbe nel caso di trasporto del rifiuto per lunghe distanze. Se però si vanno ad inserire anche i benefici economici ed un bilancio energetico si può vedere che risulta più vantaggioso lo scenario identificato con "aperto" in quanto in esso si

considera pure l'opportunità di inviare i rifiuti fuori regione dove magari il trattamento risulti più vantaggioso economicamente.

Come si è visto il trasporto è un fattore rilevante nella gestione dei rifiuti su grande scala, e può rappresentare una discriminante quando si vanno a fare delle scelte strategiche. Un esempio di come i trasporti influenzino le scelte strategiche si trova nell'articolo di Scott Leitham, et al. (1999) dove viene illustrato come la localizzazione di impianti industriali possa essere influenzato dai costi di trasporto e dalla presenza di infrastrutture.

Un'altra problematica, inerente a quanto svolto nel presente lavoro di tesi, è la localizzazione ottimale dei siti di trattamento e/o smaltimento dei rifiuti.

L'ubicazione degli impianti di incenerimento, in particolare quelli destinati al trattamento dei materiali pericolosi, è un problema importante a causa degli impatti ambientali, sociali ed economici che essi impongono. I costi associati alla realizzazione degli impianti ed i rischi per le popolazioni vicine sono preoccupazioni importanti.

Alçada-Almeida et al. (2009) ha proposto un sistema interattivo di supporto alle decisioni (IDSS) basato sul sistema di informazione geografica (GIS) per aiutare i pianificatori per determinare le posizioni e le capacità più appropriate di impianti di incenerimento di materiali pericolosi. Lo studio condotto introduce un approccio di programmazione multi-obiettivo, al fine di individuare i luoghi e le capacità di tali strutture. L'approccio incorpora un modello di dispersione gaussiano e un modello di ottimizzazione multi-obiettivo in un sistema di supporto decisionale interattivo basato su supporto GIS, al quale i pianificatori possono accedere via Internet. L'approccio proposto è applicato ad un caso studio nel centro del Portogallo, dove il governo nazionale ha deciso di individuare un grande impianto per l'incenerimento dei rifiuti industriali pericolosi. A causa della forte opposizione locale e nazionale, la costruzione della struttura è stata ritardata. Il sistema è stato progettato in modo che possa essere utilizzato dai decisori senza una formazione specifica in modelli di dispersione, programmazione multi-obiettivo, o GIS.

4.2 Il problema del trasporto dei rifiuti su scala urbana

L'aumento dei costi della gestione dei rifiuti e l'elevata visibilità delle attività di raccolta in ambito urbano, sono problemi sentiti dall'opinione pubblica, che chiede efficienza nella raccolta e smaltimento dei rifiuti solidi urbani.

Il miglioramento della gestione dei rifiuti, con conseguente riduzione dei costi, può, infatti, essere condotta anche a livello locale. Questo si può ottenere migliorando la raccolta o ottimizzando il trasporto, aspetti che interessano ai fini del presente studio. La progettazione di un piano di raccolta fino a poco tempo fa veniva fatto dai decisori in maniera grossolana disegnando a mano su una cartina il percorso di raccolta che doveva essere effettuato. Oggi tutto questo è impensabile perché le variabili sono aumentate, basti pensare alla raccolta differenziata e all'aumento del traffico stradale. Questo ha reso necessario l'utilizzo di modelli capaci di dare un supporto ai decisori che possa stabilire il percorso migliore, più conveniente e meno impattante per l'ambiente.

Molti studi suggeriscono che la gestione dei rifiuti è uno dei servizi più costosi per una città e i suoi abitanti. I servizi di raccolta e il trasporto dei rifiuti costituiscono una grossa fetta (circa il 75%) del costo totale per il sistema di gestione integrata dei rifiuti all'interno centri urbani. Tali costi elevati hanno portato gli amministratori a cercare una maggiore efficienza nelle operazioni di raccolta e di trasporto, in modo da recuperare e risparmiare i fondi a loro disposizione.

A tal proposito uno studio sull'ottimizzazione delle risorse per la raccolta dei rifiuti è stato svolto nella municipalità di Asansol, che si trova nell'est dello stato del Bengala in India. In questa municipalità è stata condotta un'analisi (Ghose et al., 2006) portata avanti utilizzando un supporto GIS, per ottimizzare la raccolta dei rifiuti all'interno della municipalità. Lo studio ha messo in evidenza che una corretta gestione della raccolta dei rifiuti con un'ottimizzazione del trasporto produce un notevole risparmio sui costi di gestione (il 68% in meno rispetto al costo attualmente sostenuto).

La costruzione del modello è stata resa necessaria dalla crescente necessità di gestire grosse quantità di rifiuti prodotti. La crescente produzione di rifiuti è stata causata sia dall'aumento demografico sia da un miglioramento delle condizioni di vita, che porta gli esseri umani a produrre più immondizia. Nel caso specifico dell'India la popolazione è cresciuta del 26% nel solo 2006. Questo rapido incremento demografico ha portato alla crescita delle città non sempre accompagnata da una crescita parallela dei servizi importanti per i cittadini. Ciò ha determinato, ad esempio, la mancanza di fognature e la mancanza di una raccolta efficace dei rifiuti solidi urbani. Soffermandoci sulla gestione dei rifiuti può affermarsi che vi è stata sottovalutazione del problema da parte delle autorità cittadine che ha determinato una situazione molto complicata.

Lo studio descritto ha evidenziato come la maggior parte dei fondi comunali vengono dedicati alla gestione dei rifiuti. Da una ricerca è scaturito che per smaltire una tonnellata di rifiuto l'ente pubblico spende da 500 rupees (7€), a 1500 rupees che in euro corrispondono 20€. Per migliorare la raccolta dei rifiuti entrano in gioco vari fattori come il numero dei mezzi, il percorso che deve fare il mezzo, le caratteristiche della strada ect. Come si può capire sono parecchi i fattori da dover gestire, per questo i decisori si devono avvalere di un buon strumento che possa aiutarli nelle loro decisioni. Nello studio portato avanti da Ghose et al. viene proposto un efficiente sistema di

gestione dei rifiuti solidi urbani escludendo i rifiuti industriali, quelli ospedalieri e gli inerti.

La redazione del piano di gestione proposto deve contenere:

- Appropriato metodo di immagazzinamento on-site;
- Appropriato metodo di trasporto avvalendosi del Geographical Information System (GIS);
- Appropriato metodo di eliminazione dei rifiuti;
- Valutazione delle spese dell'intero piano dei rifiuti.

La scelta di un percorso ottimale per lo smaltimento dei rifiuti presuppone la gestione di vari criteri di selezione. Questo per un pianificatore è il lavoro più tedioso. In letteratura esistono vari tipi di approcci come quello presentato da Pelms and Clark, (1971) che hanno proposto un modello di posizione.

Come è stato detto lo studio è stato svolto utilizzando un modello GIS. Questo modello ha il compito di creare un piano per la gestione dei rifiuti che risulti il meno oneroso possibile sia a livello di impatto ambientale che a livello puramente economico. Per fare ciò sono state fatte delle operazioni preliminari come il censimento di tutti i tipi di cassonetti e bidoni, dei veicoli, delle tipologie di strade. Fatto ciò, attraverso il GIS è stata ricreata l'intera rete stradale utilizzando un modulo di analisi delle reti del GIS. Utilizzando questo modulo è possibile creare un modello matematico della rete stradale, costituita da archi e nodi, cui è possibile associare tutte le caratteristiche utili alla descrizione del suo funzionamento, come ad esempio: la lunghezza dell'arco, il verso di percorrenza e la capacità dell'arco.

Il modello calcola il percorso ottimale di raccolta dei rifiuti sulla base di diversi parametri, quali densità demografica, produzione di rifiuti, caratteristiche della rete stradale ed tipi di strade, tipologia di cassonetti ed veicoli di raccolta, ecc. Il modello proposto può essere usato come strumento d'ausilio decisionale alle autorità comunali per la gestione dei rifiuti solidi, potendo così ottimizzare il riempimento dei veicoli, riducendo il consumo di combustibile e i turni di lavoro degli operai e dei veicoli.

In Europa un caso studio interessante (Nuorito et al., 2006) tratta l'ottimizzazione del servizio di raccolta nei comuni della Finlandia orientale. Nello studio viene perseguito l'obiettivo di trovare il giusto fattore di riempimento dei mezzi e il più opportuno percorso da seguire per i mezzi di raccolta.

Viene ribadito il concetto della difficoltà da parte dei comuni per la gestione dei rifiuti solidi urbani. Negli ultimi anni, a causa dell'aumento della produzione di rifiuti e delle preoccupazioni ambientali, ultimamente molto sentite dall'opinione pubblica, molte municipalità sono state costrette a rivedere la gestione dei rifiuti in maniera tale da gestire i costi e diminuire gli impatti. In Finlandia negli ultimi 15 anni si sono registrati numerosi progressi tecnologici nell'ambito della raccolta, trattamento e smaltimento del rifiuto. Queste nuove tecnologie hanno portato chi si occupa della raccolta dei rifiuti, sia essi privati o pubblici, ad avvalersi di software informatici nella gestione della raccolta dei rifiuti. Questi software hanno la capacità di scegliere il percorso più conveniente e quindi di ottimizzare le risorse.

Lo studio che è stato portato avanti si prefiggeva l'obiettivo di determinare i percorsi ottimali compiuti dai veicoli adibiti alla raccolta dei rifiuti. Questo piano è stato

realizzato in due regioni differenti nella Finlandia orientale. Negli anni passati la redazione degli itinerari che i veicoli compattatori dovevano svolgere erano fatti manualmente. Appariva ovvio che il problema non potesse più essere affrontato in tale maniera.

Nelle due regioni prese in considerazione la raccolta interessava zone fortemente popolate e zone con scarsa densità abitativa. Complessivamente nelle regioni oggetto di studio vi erano all'incirca 30.000 cassonetti. Questi a loro volta dovevano essere suddivisi a seconda del tipo di rifiuto a cui erano destinati. Un veicolo poteva svuotare un centinaio di cassonetti prima di andare a conferire in discarica; ovviamente, solo un tipo di rifiuto poteva essere raccolto dal veicolo per ogni giro. In Finlandia la raccolta è consentita solamente durante i giorni feriali, mentre nei festivi e il sabato non è consentita. Un veicolo parte dal deposito di mattina e deve ritornare prima della fine della giornata, inoltre esso deve andare a conferire in discarica prima di rientrare in deposito se il carico che ha raccolto, nella giornata lavorativa, riempie più del 50% della capienza complessiva del veicolo. Se il veicolo per compiere tutto il giro programmato e l'eventuale conferimento in discarica impiega più delle 8 ore lavorative, alla squadra verranno pagate le ore in più come straordinario. Ogni giornata lavorativa di 8 ore è divisa in due da un intervallo di trenta minuti per il pranzo. Quindi in una giornata si possono effettuare due giri, uno la mattina e uno dopo pranzo. I veicoli a disposizione sono tutti uguali ed hanno una capacità di 26 tonnellate. Le quantità e la tipologia di rifiuto prodotto sono molto variabili nelle diverse zone della regione. Questo dipende da vari fattori come il reddito procapite, lo stile di vita, il periodo dell'anno. Di conseguenza, per determinare il fattore di riempimento dei cassonetti, si deve operare considerando il problema come stocastico. Per fare lo studio si è ipotizzato che per determinare il fattore di riempimento ci si rifà a dati storici e a metodi già descritti in letteratura (Nuortio et al., 2004). I tempi di conferimento in discarica e i tempi di svuotamento dei cassonetti sono ricavati utilizzando dati storici rielaborati utilizzando analisi di tipo regressivo (Nuortio et al, 2004). L'obiettivo dello studio è stato cercare di minimizzare i percorsi ed i veicoli impegnati così da ottimizzare la raccolta utilizzando un metodo stocastico periodico. Questo metodo ha preso il nome SPVRPTW (*Stochastic Periodic Vehicle Routing Problem with Time Windows*) che segue una tipologia di modello già descritta in letteratura (Braysy and Gendreau, 2005). Di solito un'azienda ha un numero di veicoli determinato e l'obiettivo è quello di usarli al meglio. Questo problema in letteratura viene descritto con la sigla VRP (*Vehicle Routing Problem*). Sono state inoltre prese in considerazione le strade che compongono la rete come un insieme di nodi ed archi a cui si vanno ad associare delle informazioni.

Prima di effettuare la descrizione del modello che sta alla base dello studio sono stati elencati gli input, suddivisi in sei tipologie:

- a) Cassonetti. Questo file contiene le informazioni relative ai cassonetti, come ad esempio: capacità, percentuale di riempimento, tempo di svuotamento e punto di posizionamento del cassonetto.
- b) Impianto. In questo file viene immagazzinato il dato relativo all'impianto di conferimento del rifiuto. Viene determinata la posizione dell'impianto ed il tempo per arrivarvi ed quello di apertura dell'impianto.
- c) Veicoli. Questo file contiene informazioni sulla flotta a disposizione dell'azienda. Ogni veicolo è identificato da una sigla.

- d) Punti di fermata. In questo file vengono inseriti tutti i punti di fermata che i mezzi devono compiere, utilizzando dati storici. I punti di arresto sono posizionati dove il veicolo è parcheggiato per compiere le operazioni di carico e scarico. Ogni punto di arresto è identificato con delle coordinate spaziali in x e y.
- e) Regole. In questo file vengono contenute le informazioni sugli orari lavorativi quotidiani e settimanali, giorni di funzionamento degli impianti, dati sulle distanze e intervalli di raccolta.
- f) Matrice delle distanze. In questo file viene formata una matrice origine-destinazione dove vengono inserite tutte le distanze tra i vari nodi della rete ed i relativi tempi di percorrenza.

T. Nuortio et al. / Expert Systems with Applications 30 (2006) 223–232

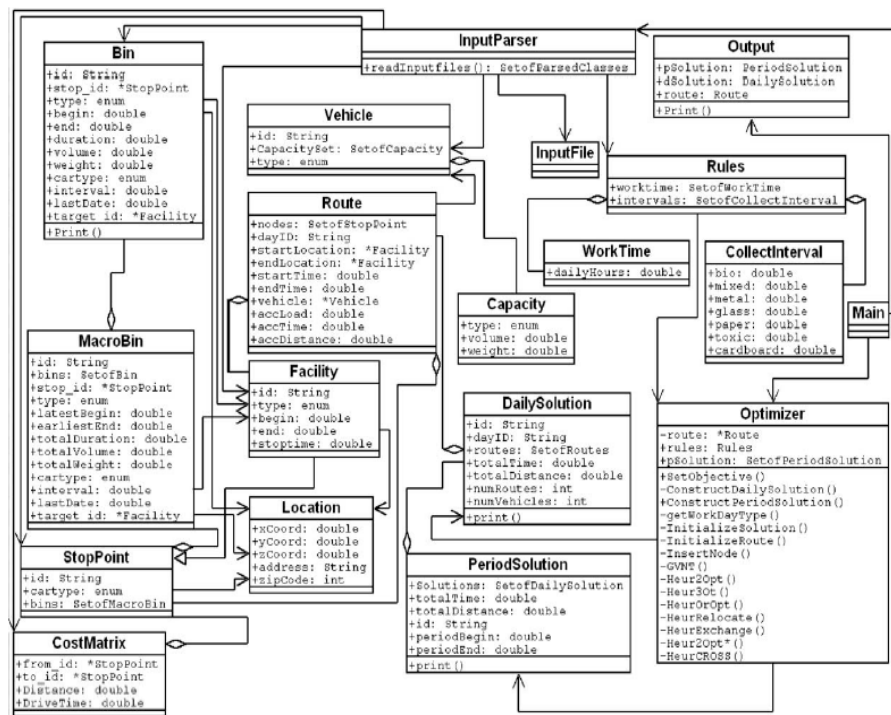


Figura 9: Struttura concettuale del modello utilizzato per la gestione e l'ottimizzazione della raccolta dei rifiuti. (Nuortio et al., 2006)

La struttura del modello concettuale può essere vista in Figura 9 dove si possono vedere molte funzioni di controllo: “InputParser”, “Optimizer” e “Output classes”. Gli “InputParser” servono a inserire le sei classi di dato descritte in precedenza.

“Optimizer” è una parte del programma che trova i tempi, gli orari e i percorsi utilizzati nel piano ottimizzandoli. Per l’ottimizzazione viene usata la funzione SetObjective. La funzione ha come obiettivo di default quella di ottimizzare il percorso in base alla distanza, ma essa può essere scelta in base al tempo o ad altri costi.

Per ottenere il percorso ottimo oltre all’algoritmo di scelta è stato utilizzato un tool di Matlab chiamato Matlog che è stato utilizzato per stimare ed ottimizzare la raccolta di ogni singolo itinerario basato sul problema *del commesso viaggiatore*.

In definitiva in questo studio è stato analizzato il problema della raccolta e del trasporto di rifiuti solidi urbani all’interno di due regioni della Finlandia. Il modello concettuale euristico utilizzato può essere facilmente generalizzato ad altri casi studio che devono affrontare le medesime difficoltà. L’applicazione del modello ha portato notevoli risparmi rispetto alla modalità di raccolta e trasporto che viene utilizzata nella pratica corrente.

Un altro importante studio che ha preso in considerazione i vincoli temporali dovuti alla raccolta dei rifiuti presso le utenze commerciali è stato effettuato da Kim B.I. et al. (2006). È stato presentato un algoritmo che si focalizza principalmente su un caso reale di raccolta quotidiana dei rifiuti commerciali, considerando il problema come una variante del SPVRPTW, prendendo in esame anche la pausa pranzo dei conducenti e i molteplici viaggi fino all’impianto di smaltimento.

Il problema della raccolta dei rifiuti è spesso considerato come un problema di routing senza vincoli temporali di raccolta. Tuttavia, questo punto di vista può essere applicato solo a problemi residenziali; nel settore della raccolta dei rifiuti, ci sono due settori fondamentali: la raccolta dei rifiuti commerciali e la raccolta dei rifiuti residenziali. Kim B.I. et al. si è occupato principalmente del problema raccolta rifiuti commerciali. Il problema può essere caratterizzato come una variante della VRPTW poiché la raccolta dei rifiuti commerciali presenta dei vincoli di raccolta legati alle finestre temporali entro le quali poter effettuare il servizio presso l’utenza. La variante più significativa consiste nelle operazioni di smaltimento e nella pausa pranzo del conducente.

Lopez Alvarez J.V. et al. (2008), ha utilizzato un supporto Arc-View GIS proponendo una metodologia per la scelta delle nuove posizioni per i contenitori per la raccolta di carta e cartone dalle aree commerciali di Legane (Spagna) e per la progettazione dei percorsi stradali al fine della loro ottimizzazione.

Un’altro esempio di come una corretta pianificazione della gestione dei rifiuti possa portare benefici alla comunità, producendo un abbassamento dei costi di gestione, si può trovare in McLeod et al. (2007). In questo studio si è realizzato un riassetto della raccolta di rifiuti in un’area metropolitana per consentire un risparmio di risorse. Il risparmio può essere quello legato al personale oppure legato al risparmio carburante per i mezzi. Lo studio è stato preso in considerazione perché in questo articolo si compiono anche scelte tattiche come il ricollocamento dei veicoli di trasporto nei diversi depositi oppure il riassetto dei tragitti effettuati dai mezzi affinché si minimizzino i costi di gestione.

Utilizzando un software chiamato LogiX, si tenta di risolvere tre problematiche principalmente:

- consentire a tre amministrazioni locali limitrofe di poter organizzare il servizio in maniera condivisa;

- consentire una riorganizzazione dei tragitti da percorrere per ottimizzare i costi;
- consentire di poter variare le tipologie di raccolta tra secco e resto del rifiuto.

Il modello LogiX, utilizzato nello studio, prevede di utilizzare una rete viaria composta da archi. Su questa rete vengono effettuate le simulazioni di percorso. Ad ogni arco della rete sono associati i seguenti dati: il tempo e la velocità di percorrenza, lunghezza dell'arco e dati relativi al traffico. Oltre alle caratteristiche della rete vengono fornite, al modello, caratteristiche relative ai veicoli ed ai punti di fermata obbligatori del mezzo. Le notizie relative al mezzo utilizzato per la raccolta sono varie come: la capacità e la velocità del mezzo, informazioni relative al tempo a disposizione per completare il giro, a conferire e tornare in deposito, etc.

Nella Figura 10 vengono rappresentati i tre comprensori con la localizzazione degli impianti di conferimento e dei depositi dei mezzi.

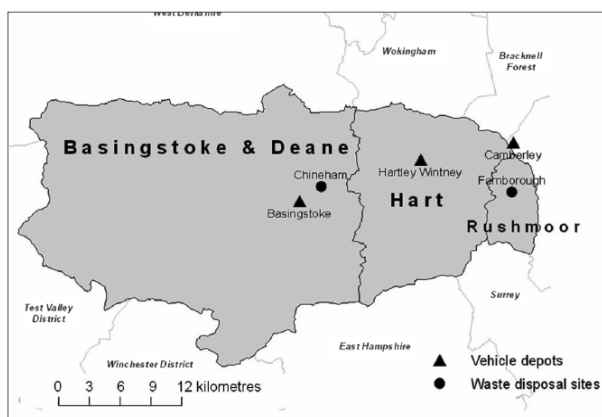


Figura 10: Rappresentazione dell'area studiata. (McLeod et al., 2007)

Attraverso il modello che è contenuto nel software LogiX è stata fatta una analisi dei percorsi trovando i migliori. In particolare è stata fatta un analisi delle tre amministrazioni in maniera separata, per vedere se e quanto, condotta ognuna delle tre, risparmiava in termini di tempo e di tragitto percorso. Il risultato è mostrato in Figura 11, dove le tre amministrazioni sono identificate con le lettere A,B e C.

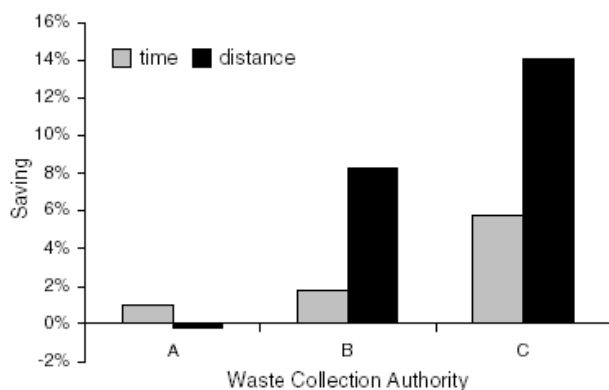


Figura 11: Rappresentazione del risparmio di tempo dopo aver effettuato lo studio. (McLeod et al., 2007).

Lo studio ha fatto emergere come la raccolta del rifiuto in maniera unitaria per tutte e tre le amministrazioni, aggiunto al fatto all'ottimizzazione dei percorsi, grazie al software LogiX, porta benefici in termini di costi di gestione. L'analisi è stata portata avanti per due tipologie di raccolta del rifiuto: una che prevede la raccolta di solo il rifiuto indifferenziato; l'altra che prevede la raccolta differenziata all'80%. Il risultato riportato in Figura 12, mostra il risparmio in termini di tempo. Il diagramma oltre a dividere i casi studiati per tipologia di raccolta (80% differenziata, 100% indifferenziata), li distingue pure a seconda del tempo impiegato per svuotare il singolo cassonetto (12,5 s/bin e 17,5 s/bin). Come si può notare dalla figura il risparmio di tempo maggiore si ha considerando la raccolta differenziata all'80% ed un tempo di svuotamento del cassonetto di 12,5 s/bin.

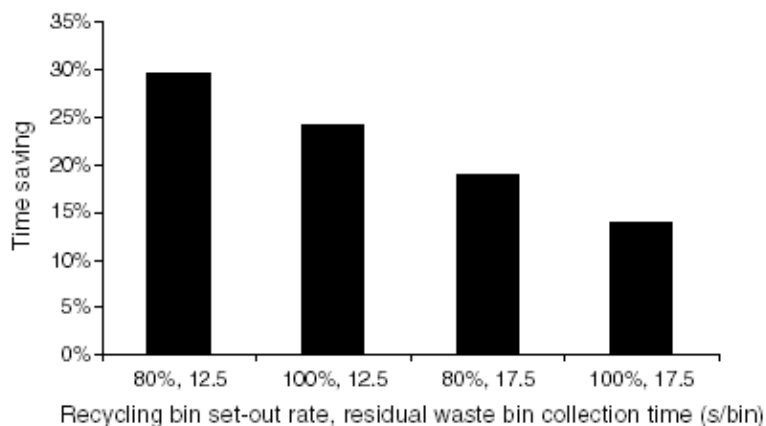


Figura 12: Risultati ottenuti dallo studio in termini di risparmio di tempo. (McLeod et al., 2007).

Proprio in riferimento ai costi operativi dei sistemi di raccolta dei rifiuti, Angelelli e Speranza (2002) hanno applicato un algoritmo da loro sviluppato per la stima dei suddetti costi di gestione.

Un sistema è quello tradizionale, ampiamente utilizzato: i rifiuti sono generalmente raccolti in sacchetti di plastica e un equipaggio di tre uomini è necessario su ogni veicolo. Gli altri due sistemi richiedono un equipaggio costituito da un solo autista per la raccolta di contenitori stradali tramite compattatore a caricamento laterale. Il sistema di carico laterale con corpo fisso svuota automaticamente i contenitori stradali nel cassone del mezzo e conferisce il carico presso il sito di smaltimento. Il sistema side-loader con cassone scarrabile permette la separazione della fase di raccolta rifiuti da quella del trasporto al sito di smaltimento, in quanto il corpo del veicolo può essere sganciato.

Il modello è stato applicato a due casi di studio. Nel primo caso è stato confrontato il costo operativo di un sistema side-loader contro un side-loader con cassone scarrabile e considerando una capacità variabile del mezzo, la durata dei turni e la posizione delle stazioni di trasferimento. Nel secondo caso abbiamo usato il modello per stimare i costi operativi di un side-loader con cassone scarrabile in condizioni diverse: la raccolta dei rifiuti indifferenziati e differenziati, l'estensione della zona di raccolta e la quantità di rifiuti da raccogliere.

Il modello può essere applicato quindi a diversi sistemi di raccolta in modo da poter avere una corretta comparazione.

Sono stati effettuati anche studi relativi all'ottimizzazione dei sistemi di raccolta dei rifiuti in ambito urbano applicando algoritmi del tipo "Ant Colony System". Karadimas et al. (2007) ha utilizzato il suddetto algoritmo tenendo conto di tutti i parametri necessari per la raccolta dei rifiuti solidi e basando il sistema di gestione dei RSU, su un sistema di informazione geografica (GIS). Bautista et al. (2008) ha applicato una metodologia basata sul "Ant Colony Heuristic System" e un problema di *Arc Routing Capacity* per la soluzione di un problema di raccolta dei rifiuti urbani nel comune di Sant Boi de Llobregat, nell'area metropolitana di Barcellona (Spagna).

4.3 Sistemi di trasporto intelligenti

4.3.1 La telematica applicata ai trasporti: “infomobilità” e sistemi di trasporto intelligenti

La «*Telematica per i Trasporti*», nota a livello internazionale con l'acronimo ITS (*Intelligent Transport Systems*), riguarda:

“l'insieme delle procedure, dei sistemi e dei dispositivi che consentono - attraverso la raccolta, comunicazione, elaborazione e distribuzione di informazioni - di migliorare il trasporto e la mobilità di persone e merci, nonché di verificare e quantificare i risultati raggiunti”.

Dunque, presuppone l'impiego integrato delle telecomunicazioni, dell'informatica e di strategie di gestione volte a migliorare la sicurezza e l'efficienza dei sistemi di trasporto.

Oggi, la quantità di informazioni affidabili e disponibili in tempo reale consente di progettare e ottimizzare i flussi di persone e merci, migliorando la sicurezza e l'efficienza dei sistemi di trasporto.

Lo sviluppo della Telematica per i Trasporti prevede le seguenti attività:

- i. la raccolta, mediante dispositivi e sistemi di varia natura, di informazioni inerenti il traffico (stradale, ferroviario, marittimo,...), i servizi di trasporto pubblico, le condizioni delle strade, l'occupazione delle linee ferroviarie, l'ambiente, ecc.;
- ii. il monitoraggio dei veicoli di trasporto, delle unità di carico (pallet) e per il carico (container, casse mobili, semirimorchi);
- iii. la trasmissione, con adeguati supporti di telecomunicazione, delle informazioni e dei dati raccolti presso centri privati o pubblici, per la loro successiva elaborazione;
- iv. l'elaborazione delle informazioni e dei dati disponibili, a cura degli operatori della gestione, del controllo e, più in generale, dei servizi;
- v. la distribuzione ai vari attori, l'archiviazione e l'analisi delle informazioni e dei dati elaborati;
- vi. la diffusione delle informazioni rilevanti all'utenza interessata;
- vii. l'utilizzo dei dati e delle informazioni disponibili per diverse azioni di sorveglianza e controllo, intese a migliorare la sicurezza della guida e del movimento dei veicoli di trasporto, l'ottimizzazione del funzionamento delle flotte e delle infrastrutture;
- viii. l'integrazione, laddove necessaria, tra servizi e sistemi di trasporto, atta a consentire una gestione integrata dei titoli di viaggio, il trasporto multimodale ed intermodale.

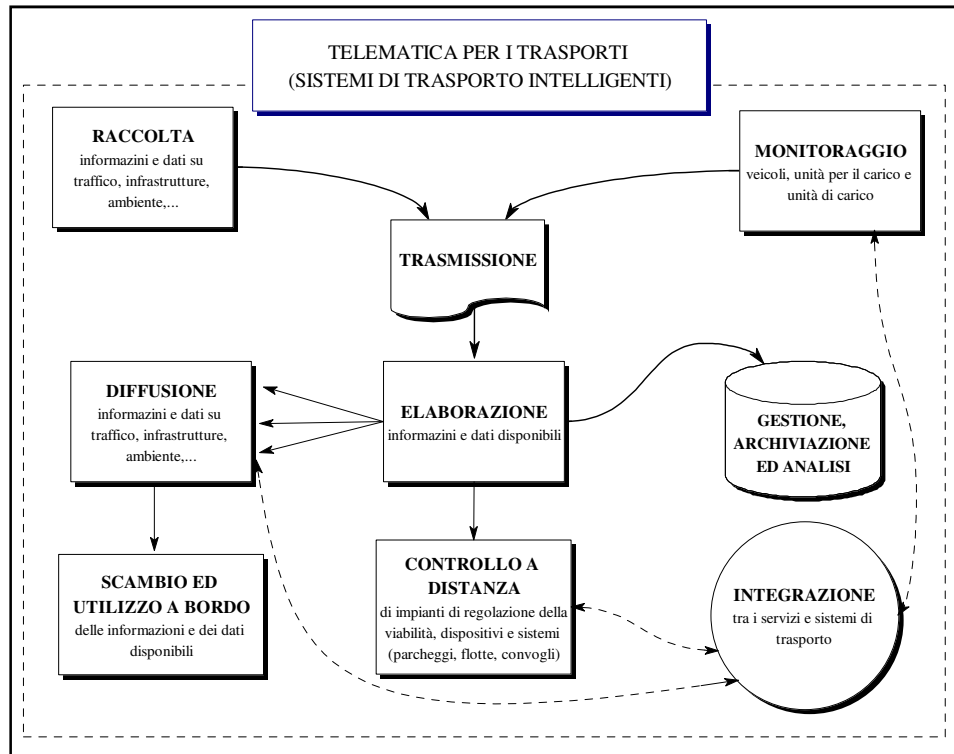


Figura 13: Schema delle tematiche ed attività coinvolte nella "Telematica per i Trasporti" (Quaderni PGT, 1999)

I sistemi telematici per i trasporti permettono quindi:

- al passeggero, di scegliere ed utilizzare le varie opportunità secondo i suoi desideri;
- all'operatore, di sfruttare al meglio la capacità e migliorare la sicurezza dell'infrastruttura, a costi relativamente contenuti;
- al gestore di flotte, di conoscere la situazione dei mezzi, determinare le rotte più efficienti, aggiornare il cliente sulla consegna;
- ai fornitori dei servizi, i quali possono elaborare i dati provenienti da dispositivi e sistemi di monitoraggio, tele-controllo, etc., di rendere disponibili ai passeggeri, agli operatori, ai gestori, le informazioni necessarie per poter ottimizzare le proprie scelte ed operare in un contesto più sicuro.

Si evince da quanto detto come tali sistemi siano in grado di coinvolgere tutti gli interessati all'attività suddetta – utenti, operatori privati e pubblici – creando i presupposti per una gestione consapevole ed integrata dei sistemi di trasporto.

4.3.2 Elementi costitutivi della telematica per i trasporti e benefici attesi dall'attuazione dell'architettura

La combinazione tra due settori apparentemente distanti, quali quello dei trasporti e quello telematico, ha portato ad alcuni benefici fondamentali: l'aumento dell'*efficienza* del trasporto, la maggiore *capacità della rete di trasporto* nel suo complesso e la *maggiore sicurezza* degli utenti.

Per quanto riguarda il *trasporto passeggeri*, tra i temi di maggiore interesse si possono elencare:

- la gestione della domanda di trasporto;
- le informazioni relative al traffico e al viaggio;
- l'integrazione dei sistemi per la gestione del traffico in ambito urbano;
- l'integrazione dei sistemi per la gestione del traffico in ambito suburbano;
- le problematiche del veicolo come tale e di assistenza al guidatore;
- la gestione delle flotte e del trasporto;
- le ricerche sul trasporto pubblico.

Per quanto riguarda il trasporto delle merci, è necessario tenere in considerazione due aspetti essenziali: la presenza umana e l'automazione. Difatti, sono entrambi indispensabili nella gestione e movimentazione dei flussi fisici, ma nel secondo caso è diventata sempre più preponderante il ricorso alle telecomunicazioni, allo scambio elettronico di dati e al controllo informatico dei processi, che ha quindi favorito l'incremento dell'efficienza del servizio a parità di personale.

In particolare, l'associazione di reti di trasmissione voce e dati, dell'EDI (*Electronic Data Interchange*) e del controllo automatico delle flotte, di norma con l'ausilio di sistemi informativi territoriali, costituisce un insieme di elementi con elevato potenziale di sviluppo e rapido ritorno dell'investimento.

La telematica non pretende senz'altro di essere l'unico elemento di competitività e sviluppo dei trasporti, seppure da essa ci si possa attendere molto. Si possono individuare quattro fattori che favoriscono la soluzione dei problemi di trasporto: le azioni sulle infrastrutture, le azioni attinenti alla domanda, il miglioramento dei veicoli e la telematica per i trasporti. Nessuno di essi costituisce un'alternativa agli altri, né potrebbe essere in grado di risolvere autonomamente i vari problemi del settore. Senza dubbio, però, la telematica può apportare un contributo molto forte, sia che venga posta in sequenza che in parallelo agli altri fattori di sviluppo.

4.3.3 Applicazioni e benefici derivanti dall'integrazione dei sistemi telematici per i trasporti

Sono diversi i benefici derivanti dal ricorso dei sistemi di telecomunicazione nella gestione dei trasporti: la possibilità di un maggiore utilizzo dei veicoli, tramite il miglioramento della gestione della flotta, l'esecuzione più puntuale delle consegne, il risparmio di carburante, la maggiore qualità del lavoro degli autisti; si può attendere una più elevata efficienza dal servizio mediante la riduzione dei tempi di viaggio e chilometri a vuoto, programmazione ottimale dei percorsi, gestione di più veicoli, integrazione con il sistema informativo e gestionale aziendale; prevenzione e sicurezza sono di riscontro immediato attraverso il continuo monitoraggio del veicolo,

l'immediato invio di messaggi di emergenza, l'assistenza e protezione del personale addetto al mezzo di trasporto.

Concludendo, le tecnologie telematiche si propongono come anello di congiunzione tra i vari modi di trasporto di passeggeri e merci, nonché come elemento di concorrenzialità di un'organizzazione.

4.3.4 Gli ITS a supporto dei Sistemi di Trasporto a Domanda Flessibile

I servizi di trasporto pubblici convenzionali di persone hanno percorsi e orari fissati. Una zona scarsamente popolata, per esempio la periferia urbana, ha invece una domanda di trasporto variabile, sia da un punto di vista spaziale (*routing*, organizzazione dei percorsi) che temporale (*scheduling*, organizzazione degli orari). Questo significa che l'offerta di trasporto non risponde in modo adeguato alla domanda di queste aree particolari, che per la loro peculiarità e variabilità si definisce "domanda debole o flessibile".

In risposta a tali problemi, un servizio di trasporto più flessibile (*Demand Responsive Transit service*, DRTs) può, quindi, essere più efficiente rispetto ad un servizio tradizionale con *scheduling* e *routing* fissi.

Le aziende di Trasporto (di persone o di merci) negli ultimi anni si sono dotati di sistemi di localizzazione e controllo delle flotte, sistemi di informazioni per l'utenza, di biglietteria elettronica e di gestione di servizi di trasporto a chiamata che permettono di dare un'offerta adeguata alla domanda flessibile.

Per poter attuare un tale sistema di trasporto, è necessario che vengano utilizzati sistemi di trasporto intelligenti (ITS).

Il contributo coordinato ed integrato dei vari sistemi ITS permette di gestire o regolare in qualche modo, sia manualmente che automaticamente, una variabile così complessa e apparentemente ingestibile come il traffico in un'area urbana, nonché le flotte di mezzi adibiti alla distribuzione e/o raccolta di merci.

Il sistema di Gestione, basato in una Centrale Operativa agisce sui seguenti presupposti :

- A. Sistemi di input dal territorio (dati, segnalazioni, allarmi di vario tipo, interventi ecc...):
sono i dati in tempo reale che alimentano il sistema e che vengono elaborati per fornire un quadro realistico ed intellegibile della situazione del traffico, rappresentando in modo opportuno (allarmi di vario tipo , colorati , su cartografia digitale , acustici ecc. in funzione del livello di attenzione / allarme) situazioni di normalità o di criticità crescente .
- B. Sistemi di elaborazione dell'informazione in Tempo Reale:
qui vengono raccolti, filtrati, elaborati tutti i dati proveniente dai sistemi di input – ossia dal campo- per essere trasformate in informazioni utili ad essere lette, interpretate dagli operatori per generare dei rapporti, degli allarmi o degli interventi.
- C. Sistemi di supporto alle decisioni/interventi:
costituisce il cuore del sistema, è un software molto sofisticato che viene costruito con una modellizzazione dinamica del traffico cittadino, dopo una lunga osservazione e raccolta dati dello stesso, fortemente adattativo e per livelli di approssimazione successiva.

Il sistema deve consentire delle simulazioni di tipo “what-if”, ossia prevedere delle possibili soluzioni a problematiche che potrebbero essere reali, fornendo una serie di soluzioni e di alternative, in modo tale da preparare gli operatori ad affrontare situazioni reali con conoscenza di causa.

- D. Sistemi di output sul territorio; sono sostanzialmente di due tipi:
- attivazioni ed interventi (modifica delle logiche semaforiche / interdizioni al traffico e ZTL / segnalazioni alle flotte monitorate con AVM/AVL, intervento fisico di personale del traffico ecc.)
 - informazioni ai veicoli ed all'utenza (messaggistica variabile: paline/pannelli, chioschi informativi, broadcast radio se disponibile, informazioni a centrali operative collegate, informazioni trasmesse via WAP / SMS, informazione via web).

La Centrale Operativa, in qualunque applicazione dei sistemi ITS, è il “cuore” di tutto il sistema in cui avviene la centralizzazione di tutti i segnali di inputs dei vari sensori periferici, tutti i dati dai mezzi viaggianti, gli allarmi ecc.

La dimensione della Centrale Operativa può essere la più varia: una semplice postazione di controllo per ogni applicazione singola nel caso di piccoli interventi o piccoli progetti ITS, oppure può divenire un complesso centro costituito da reti di computer, complessi sistemi di telecomunicazione per supportare ogni tipologia di trasmissione, sofisticati software di analisi, di simulazione e di modellizzazione, curatissimi sistemi di duplicazione delle attività critiche, sistemi di sicurezza del funzionamento e della salvaguardia dei dati.

La struttura logica su cui si basa il funzionamento della Centrale Operativa è quella di un sistema a “retroazione” (schematizzato in figura).

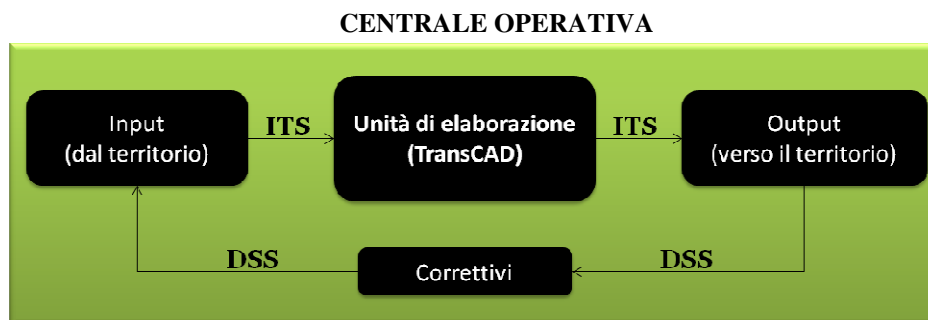


Figura 14: Struttura della Centrale Operativa per la gestione ed elaborazione dei dati

4.3.5 L'applicazione degli ITS nel servizio di raccolta dei RSU

L'integrazione di sistemi telematici, come l'identificazione a radiofrequenza (RFID), i sistemi di localizzazione satellitare (*Global Position System*, GPS), i servizi di telefonia cellulare (*General Packet Radio Service*, GPRS) e dei sistemi informativi territoriali (*Geographic Information System*, GIS), possono apportare dei sostanziali

miglioramenti al sistema tradizionale di gestione dei rifiuti. Molti studi sono stati effettuati con l'obiettivo di ottimizzare le modalità di raccolta all'interno dei centri abitati.

In uno studio condotto da Johansson (2005) in Svezia, circa 3300 contenitori adibiti alla raccolta sono stati dotati di sensori di livello e apparecchiature di comunicazione wireless, in modo da fornire agli operatori addetti alla raccolta dei rifiuti l'accesso ad informazioni in tempo reale sullo stato di ogni contenitore.

Lo scopo del lavoro è stato quello di valutare, sia per un modello ipotetico di città che per un sistema reale, la diversa programmazione dei percorsi (*routing*) e dei tempi (*scheduling*) di raccolta e come essi si integrano ad alcune caratteristiche di base del sistema di gestione dei rifiuti. Questo problema è caratterizzato dalla simultanea presenza di tre aspetti fondamentali:

- *scheduling*: per specificare un tempo o un insieme di momenti in cui un determinato percorso deve essere scelto;
- *routing*: per la scelta del percorso tra diverse zone;
- dinamicità: i due aspetti di cui sopra inseriti in un quadro di costante cambiamento di informazioni, un orizzonte temporale, e in situazioni in cui le precedenti decisioni influenzano le decisioni successive.

Va sottolineato che lo studio è legato principalmente alla raccolta di rifiuti da un numero relativamente piccolo di punti discreti, e non si applica direttamente ad una raccolta porta a porta dei rifiuti residenziali.

In questo studio, la modellazione analitica e simulazione di eventi discreti sono stati utilizzati per valutare la diversa programmazione e politiche di *routing* che utilizzano i dati in tempo reale, in particolare sono stati valutati quattro diversi metodi di raccolta:

1. *scheduling* statico e *routing* statico;
2. *scheduling* dinamico e *routing* dinamico per contenitore "pieno";
3. *scheduling* dinamico e *routing* dinamico per contenitore "quasi pieno";
4. *scheduling* statico e *routing* dinamico per contenitore "quasi pieno".

Dallo studio, si può concludere che le politiche e la programmazione di *routing* e *scheduling* dinamici hanno minori costi di gestione, brevi distanze di viaggio, ridotte ore di manodopera e con un minor numero di contenitori raccolti rispetto al criterio statico, caratterizzato da rotte fisse e predeterminate frequenze di pick-up utilizzati da molti operatori di raccolta dei rifiuti oggi.

Per sistemi grandi e ad elevata densità, il metodo di *scheduling* e *routing* 2 è la soluzione ottimale. Quando il numero dei contenitori viene diminuito e/o la distanza tra i contenitori aumenta, questa politica perde rapidamente i suoi vantaggi. Per i sistemi più piccoli, il metodo 3 è più adatto; un tale sistema può permettere riduzione dei costi tra il 10-20% per il tipo di sistemi valutati in questo studio.

Il costo di investimento per i sensori installati all'interno dei contenitori, tuttavia, non è stato considerato in questo studio.

Hannan M.A. et al. (2011) e Arebey M. et al. (2010) hanno sviluppato una nuova soluzione di RFID installati all'interno dei contenitori e sui mezzi adibiti alla raccolta, tecnologie di comunicazione come il GPS , GSM / GPRS , GIS e fotocamera a basso costo, al fine di migliorare la raccolta dei rifiuti e l'efficienza della gestione.

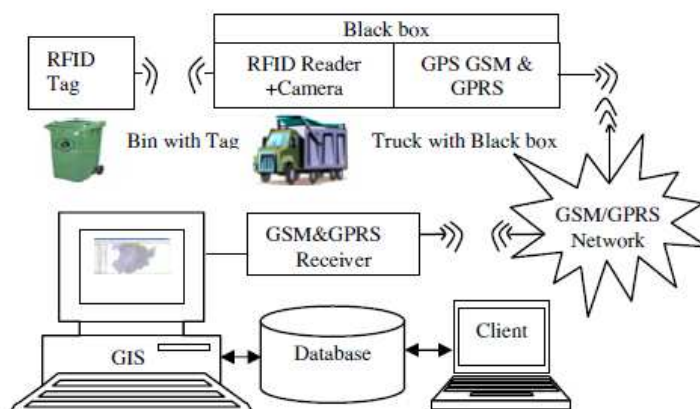


Figura 15: Architettura del sistema di gestione e monitoraggio dei mezzi e dei contenitori adibiti alla raccolta dei rifiuti solidi urbani.

I dispositivi di monitoraggio montati sui mezzi, raccolgono le informazioni di localizzazione in tempo reale tramite sistema GPS; queste informazioni sono trasferite continuamente, attraverso servizio GPRS, ad una centrale di raccolta dati.

La struttura del sistema è costituita principalmente da quattro parti:

- i. contenitore automatizzato dotato di tag RFID;
- ii. autocarro dotato di lettore RFID, macchina fotografica, modulo GPS e GSM e trasmettitore GPRS;
- iii. piattaforma di monitoraggio interfacciata con GSM e GPRS ricevitore e modulo GIS;
- iv. rete di comunicazione.

Le informazioni relative al contenitore, quali data di raccolta dei rifiuti e ID camion, memorizzati nel tag RFID, vengono letti dal lettore RFID. Le immagini riprese dalla telecamera vengono elaborate sulla base della metodologia di Otsu (Rovetta et al., 2009) al fine di stimare lo stato di riempimento del contenitore (vuoto, pieno o troppo pieno).

La latitudine e longitudine del contenitore sono fornite dal modulo GPS, installato sul mezzo insieme con il lettore RFID, GSM e GPRS. Tutte queste informazioni, combinate insieme, giungono alla stazione di controllo attraverso il trasmettitore GSM e GPRS. La stazione di controllo, raccolte tutte le informazioni, le memorizza nel database del sistema.

Con le stesse modalità descritte per i contenitori, è stato effettuato il monitoraggio dei mezzi di raccolta. Tutte le informazioni, quali ID del mezzo, nome dell'autista, longitudine, latitudine, velocità del mezzo e data vengono acquisiti dalla stazione di controllo via GSM e GPRS e immagazzinate nel database del sistema. Così, l'operatore può monitorare i dati relativi ai bidoni e ai mezzi, al fine di operare una futura pianificazione. Tutto il processo di elaborazione dei dati è effettuato nel server di controllo tramite l'interfaccia grafica utente (GUI) come mostrato nelle figure seguenti.

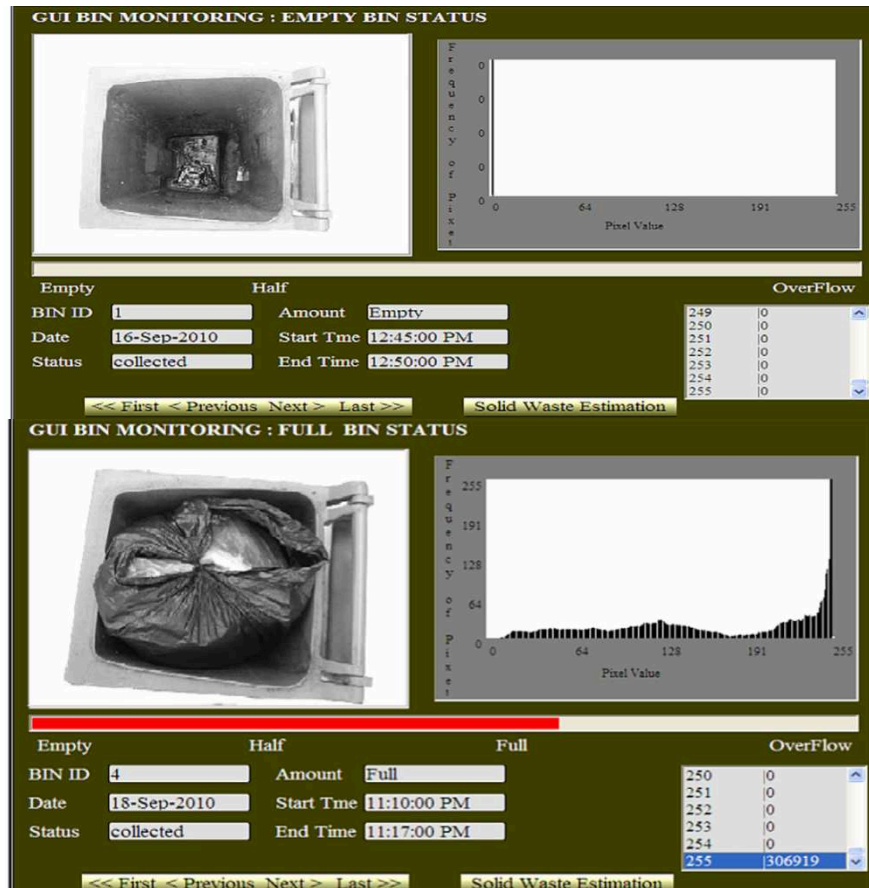


Figura 16: Interfaccia utente GUI per il sistema di monitoraggio dei contenitori

I pixel dell'immagine aumentano all'aumentare dei rifiuti presenti all'interno del contenitore. Si può concludere, quindi, che maggiore è il livello di intensità di istogramma e maggiori sono i rifiuti, e minore è l'intensità e minori sono i rifiuti. In questo modo l'analisi dell'immagine del sistema sviluppato fornisce lo stato del bidone per il monitoraggio e la gestione.

Il sistema ha inoltre contribuito a riorganizzare il posizionamento dei bidoni sulla base dei quantitativi di rifiuti solidi che sono stati gettati ogni giorno, così come è stato

possibile pianificare in modo ottimale i percorsi dei mezzi adibiti alla raccolta. Quindi, il sistema presentato, grazie all'integrazione di tecnologie di comunicazione, può essere utilizzato per una migliore pianificazione del servizio di raccolta dei rifiuti.

Uno studio condotto da Rovetta et al. (2009), nel distretto di Pudong (Shanghai, Cina) ha descritto un sistema di monitoraggio e l'organizzazione di raccolta dei rifiuti solidi urbani basato su sensori installati all'interno dei contenitori e sistemi GIS al fine di fornire dati quantitativi effettivi (come il peso e la densità del contenuto di ogni singolo contenitore) da utilizzare per migliorare l'affidabilità dei modelli e delle procedure di raccolta.

Nella zona oggetto dello studio, i rifiuti non differenziati vengono generalmente gettati in sacchi di plastica e inviati ad impianti di incenerimento e non viene effettuata nessuna attività di riciclaggio o riutilizzo. La mancanza di differenziazione dei rifiuti implica, pertanto, la necessità di raccogliere maggiori informazioni in merito alla natura dei rifiuti raccolti, per un uso successivo nella creazione di procedure di raccolta differenziata.

Gli obiettivi principali del lavoro presentato da Rovetta et al. è stato quello di:

- i. fornire dispositivi stand-alone per la raccolta di dati all'interno di ogni singolo contenitore dei rifiuti;
- ii. fare uso di tali informazioni per l'organizzazione e la pianificazione del servizio; le informazioni chiave raccolte sono rappresentate dai dati contenuti all'interno del contenitore per i rifiuti e disponibili in tempo reale.

Per le finalità di cui sopra, i contenitori sono stati dotati di una serie di sensori che sono stati validati in termini di precisione durante un certo numero di prove in condizioni reali. I sensori e l'architettura informativa relativa, presentano le caratteristiche necessarie per la stima della densità, il riconoscimento preliminare dell'oggetto e per l'applicazione di *routing* camion.

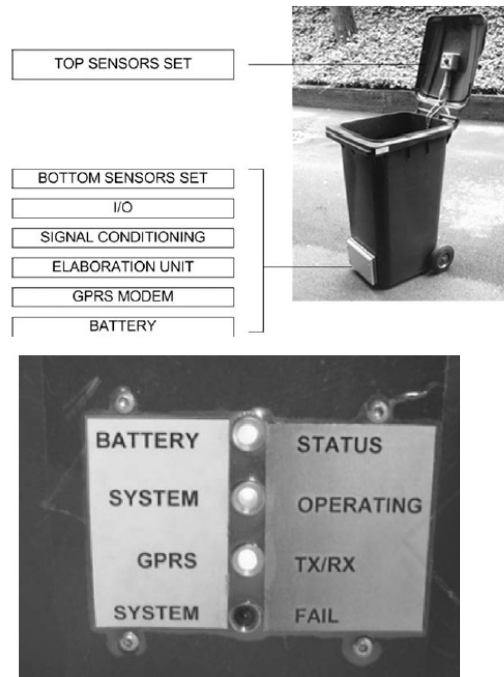


Figura 17: Prototipo di contenitore e interfaccia a LED indicante lo stato delle operazioni

I parametri campionati (peso, volume) sono disponibili non solo per il recupero di informazioni relative al monitoraggio della quantità complessiva di rifiuti prodotti, in tempo reale, ma anche per lo svolgimento delle attività di ottimizzazione dei percorsi di raccolta.

La progettazione dei dispositivi per i contenitori ha rappresentato il compito più critico del progetto in termini di requisiti hardware e prospettive di follow-up. I suddetti dispositivi devono funzionare in condizioni ambientali difficili ed essere particolarmente robusti e ben fissati per sopportare le frequenti operazioni di raccolta, come il caricamento del contenitore e il conseguente svuotamento sul mezzo, la manutenzione da parte degli operatori, ed essere allo stesso tempo conformi alla normativa vigente. Tuttavia, l'obiettivo principale nella progettazione del prototipo è stata focalizzata sull'ottimizzazione della qualità dei dati acquisiti. È stata avviata una fase successiva di progettazione con lo scopo di sviluppare dispositivi idonei all'installazione all'interno di contenitori standard (pacchetti a tenuta stagna, sistemi di protezione e rispetto dei requisiti normativi ambientali). Il costo complessivo di produzione del prototipo non è ancora stata valutata a causa del numero limitato di prototipi fabbricati.

Diversi aspetti chiave devono comunque essere sottolineati; in primo luogo, qualsiasi apparecchiatura aggiuntiva deve adattarsi ai contenitori esistenti utilizzati dalle società di raccolta dei rifiuti, senza necessità di sostituzione dello stesso. In secondo

luogo, il costo del dispositivo dovrebbe essere limitata ad una percentuale del costo contenitore, e stimata in un range tra il 20% e il 30% del costo del contenitore. In terzo luogo, si dovrebbe tenere in considerazione la riduzione dei costi ottenibili dall'applicazione di un tale sistema di raccolta. Infine, tutti i dispositivi assemblati dovrebbero essere in grado di fornire informazioni relative a guasti al fine di pianificare l'attività di manutenzione.

L'implementazione di un applicativo di monitoraggio centrale può anche contribuire a fornire dati storici in tempo reale, sullo stato della rete di contenitori monitorata. Inoltre, saranno anche disponibili i dati relativi alla posizione dei veicoli per la raccolta e la distribuzione geografica dei rifiuti in termini quantitativi per consentire l'attuazione delle attività di pianificazione delle risorse (numero di contenitori e veicoli necessari in ogni zona).

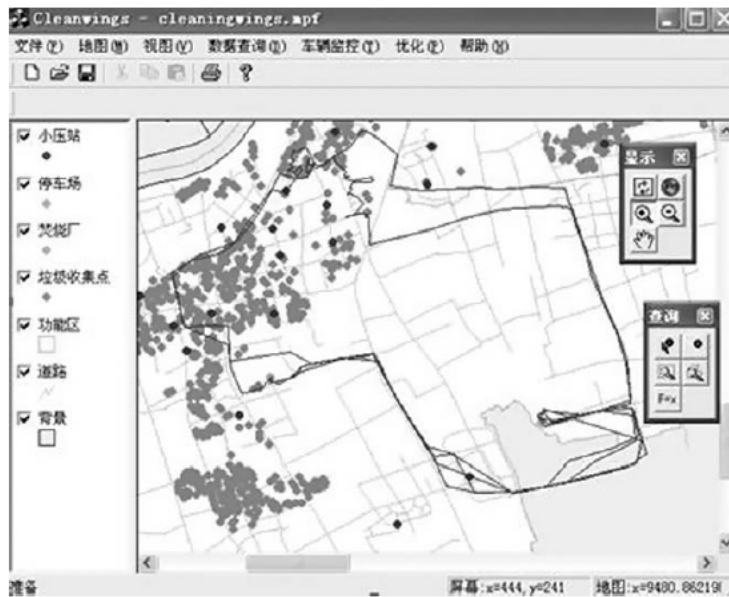


Figura 18: Percorso ottimizzato del mezzo su supporto GIS

L'approccio seguito dal suddetto studio presenta, pertanto, delle criticità legate alla fragilità intrinseca ai sensori posizionati all'interno dei contenitori.

5 MODELLAZIONE MATEMATICA DEL PROBLEMA DEL TRASPORTO DEI RIFIUTI

5.1 Premessa: analogia merce-rifiuti

La principale problematica connessa ai sistemi di trasporto delle merci riguarda la loro distribuzione dalle origini (esempio luoghi di produzione) alle destinazioni (esempio centri di distribuzione e/o vendita), che sia allo stesso tempo efficace (soddisfare la domanda), ed efficiente (in grado di minimizzare i costi di trasporto). E' possibile equiparare i rifiuti solidi urbani al concetto di merce, le origini o centri di offerta sono le aree urbane nelle quali avviene la raccolta dei rifiuti e le destinazioni o centri di ricevimento sono gli impianti di trattamento. Il presente studio ha l'obiettivo di approfondire tale aspetto nell'ottica di minimizzare il costo dello spostamento tra nodo di produzione del rifiuto e impianto di trattamento.

Se pensiamo, infatti, ai rifiuti come risorsa, la loro produzione non è diversa da quella di un qualunque altro bene. Come da intuizione di Giuseppe Natta, figlio del Nobel per la chimica, che per primo ha espresso l'analogia tra il concetto di merce come materiale portatore di un'attività (cioè chi riceve paga), e quella di rifiuto, materiale portatore di passività (cioè chi riceve è pagato). Il salto qualitativo del pensiero di Natta (Energia24 n° 13 - 2009) è che il sottoprodotto (termine gentile per il risultato della lavorazione dei rifiuti), permette di diventare a sua volta merce di scambio. Con un doppio valore: smaltisco trasformando.



Figura 19: Analogia merce - rifiuto

La gestione dei rifiuti può dunque essere trattata come un problema di logistica. Le analogie tra questi due elementi sono meglio espresse nella tabella seguente.

Tabella 12: Analogia merce – rifiuto nel processo di produzione e commercializzazione

MERCE	RIFIUTO
Produzione di materie prime	Raccolta dei rifiuti
Trasporto delle materie prime agli impianti produttivi	Trasporto e distribuzione agli impianti di trattamento
Produzione	Trattamento
Trasporto dei prodotti finiti ai magazzini di distribuzione e vendita.	Trasporto e stoccaggio degli impianti di trattamento (es. materiali riciclati).

Lo scopo dello studio è quello di mettere a punto uno strumento che sia in grado di assistere il decisore sia nella scelta della localizzazione degli impianti di trattamento sia nella ottimizzazione della raccolta dei rifiuti all'interno dei centri abitati e alla successiva assegnazione dei flussi verso gli impianti di trattamento. In particolare, lo strumento è un modello matematico basato sulla formulazione di un problema di programmazione lineare noto nell'ambito della ricerca operativa come "il problema del trasporto".

5.2 La programmazione lineare

La programmazione lineare è un modello utilizzato nell'ambito della ricerca operativa. Il più comune tipo di programmazione lineare riguarda il problema generale dell'allocazione di risorse limitate tra attività concorrenti nel modo migliore possibile (cioè in modo ottimale).

La programmazione lineare utilizza una formulazione matematica di un problema nel quale le variabili decisionali sono legate da relazioni di tipo lineare. La parola "programmazione" non si riferisce, in questo caso, a quella dei computer ma è, piuttosto, un sinonimo per pianificazione.

Una semplice applicazione della programmazione lineare è decidere la localizzazione sul territorio di un numero limitato di risorse, ottimizzando il risultato, oppure decidere come distribuire i prodotti realizzati dalle attività o se conviene localizzare l'attività in un altro posto per ottimizzare i costi di produzione e distribuzione.

Il riuscire ad associare risorse ad attività è l'utilizzo più comune, ma questo non toglie la grande duttilità di questa tipologia di approccio. La programmazione lineare ha il grande vantaggio di poter gestire molte variabili ed inserire grosse quantità di dati, quindi riesce a risolvere problemi di grande dimensione.

La risoluzione di un problema di programmazione matematica richiede di determinare il valore di n variabili x_1, x_2, \dots, x_n , dette variabili decisionali, che rispettano un insieme di vincoli e che massimizzano (o minimizzano) una funzione $z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

La funzione f , $f: \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}$, è detta funzione obiettivo in quanto sintetizza in forma analitica le finalità del problema; il vettore $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, che ha come componenti le variabili decisionali del problema, deve appartenere a un insieme $X \subset \mathfrak{R}^n$ e contiene le variabili decisionali del problema. Se si considera un problema di massimizzazione, formalmente si può scrivere

$$\max z = f(x)$$

con

$$x \in X \subset \mathfrak{R}^n$$

I vincoli possono ad esempio fissare la quantità di merce prodotta e la capacità di stoccaggio degli impianti di ricezione della merce.

L'insieme X si chiama regione ammissibile e ha come elementi i vettori (ammissibili) di \mathfrak{R}^n che verificano tutti i vincoli del problema.

Si osservi che la massimizzazione di $f(x)$ coincide con la massimizzazione di $a + bf(x)$ se $a, b \in \mathfrak{R}^n$ e $b > 0$ e con la minimizzazione di $a + bf(x)$ se $b < 0$.

Pertanto la natura del problema non cambia se nella funzione oggetto si aggiungono delle costanti o se si moltiplica la funzione oggetto per una quantità positiva; la moltiplicazione della funzione oggetto per -1 può essere, invece, utilizzata per trasformare un problema di massimo in uno di minimo o viceversa; a tal proposito si ricordi che

$$\max f(x) = -\min -f(x).$$

Un problema di programmazione lineare consiste quindi nel ricercare i valori delle variabili decisionali che massimizzano (o minimizzano) una funzione lineare e che verificano un insieme di disuguaglianze lineari.

La forma standard di un problema di programmazione lineare nel caso in cui si ricerchi un massimo è

$$\max z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Ad esempio supponiamo di avere una azienda che produce n tipi di merci e siano x_1, x_2, \dots, x_n le quantità di merci dei diversi tipi prodotte in un giorno, (o in una settimana, mese o anno). Sia c_0 il costo fisso dell'azienda e siano c_1, c_2, \dots, c_n , i costi unitari di produzione (o i guadagni unitari) delle varie merci, sicché il costo di produzione (o il profitto) dell'azienda è dato da

$$c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n + c_0$$

Naturalmente ci sono dei vincoli produttivi dovuti alla limitatezza delle risorse disponibili, (materie prime, energia, capitali, lavoro, ecc.); dette b_1, b_2, \dots, b_k le quantità di risorse disponibili, supponiamo che per ogni $i = 1, 2, \dots, k$ e per ogni $j = 1, 2, \dots, n$ la quota della i -esima risorsa assorbita dalla produzione della j -esima merce sia proporzionale alla quantità di merce prodotta secondo un fattore di proporzionalità a_{ij} .

Ovviamente si vuole determinare la strategia produttiva, cioè le quantità di prodotti da realizzare (x_1, x_2, \dots, x_n) , che permetta di minimizzare i costi (o di massimizzare il profitto).

Siamo così condotti al problema:

(PL) Minimizzare (o massimizzare) la funzione

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n + c_0$$

sull'insieme X dei punti x di \mathfrak{R}^n soddisfacenti i vincoli

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \dots\dots\dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{cases}$$

Inoltre x_1, x_2, \dots, x_n rappresentano delle quantità prodotte e quindi devono soddisfare i vincoli di positività

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$$

Un problema di questo tipo è un tipico problema di “programmazione lineare”. Più in generale si dice problema di “programmazione lineare” il problema di minimizzare o massimizzare una funzione lineare del tipo

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n + c_0$$

sull'insieme X dei punti x di \mathfrak{R}^n soddisfacenti un numero finito di vincoli, rappresentati da disequazioni lineari del tipo

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i \quad \text{o} \quad a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i$$

o da equazioni lineari del tipo

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n = b_i$$

Naturalmente una equazione del tipo $a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n = b_i$ può sempre essere sostituita dalla coppia di disequazioni

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i \quad \text{e} \quad a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i$$

D'altra parte una disequazione del tipo $a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i$ può sempre essere sostituita dalla disequazione $-a_{i1}x_1 - a_{i2}x_2 - \dots - a_{in}x_n \leq -b_i$. Pertanto

potremo sempre supporre che i vincoli siano rappresentati da un numero finito di disequazioni del tipo

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i.$$

Osserviamo inoltre che, per loro natura, spesso le variabili di scelta rappresentano delle quantità positive e quindi tra i vincoli del problema sono compresi i vincoli di positività

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$$

D'altra parte, se i vincoli del problema prevedono che alcune variabili siano positive ed altre possono anche essere negative, allora possiamo sempre trasformare il problema in modo che tutte le variabili siano positive.

Ad esempio, se (x_1, x_2, \dots, x_n) è una soluzione del sistema di disequazioni

$$\begin{cases} a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i, \forall i = 1, 2, \dots, k \\ x_1 \in \mathfrak{R}, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \end{cases}$$

allora, posto $x_1' = \max(0, x_1)$, $x_1'' = \max(0, -x_1)$ si ha che $x_1' \geq 0, x_1'' \geq 0$ e $x_1 = x_1' - x_1''$; ne segue che $(x_1', x_1'', x_2, x_3, \dots, x_n)$, è una soluzione del sistema

$$\begin{cases} a_{i1}x_1' + a_{i1}x_1'' + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i, \forall i = 1, 2, \dots, k \\ x_1' \geq 0, x_1'' \geq 0 \in \mathfrak{R}, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \end{cases}$$

Viceversa se $(x_1', x_1'', x_2, x_3, \dots, x_n)$, è una soluzione del sistema precedente, allora x_1, x_2, \dots, x_n , con $x_1 = x_1' - x_1''$, è una soluzione del sistema (1.1).

Ne segue che se $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ è un punto di massimo (o minimo) per la funzione

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

sull'insieme delle soluzioni del sistema (1.1), allora $(\bar{x}_1', \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n)$, con $\bar{x}_1'' = \max(0, -\bar{x}_1)$, è un punto di massimo (o minimo) per la funzione

$$\hat{f}(x_1', x_1'', x_2, \dots, x_n) = c_1x_1' - c_1x_1'' + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

sull'insieme delle soluzioni del sistema (1.2), e viceversa se $(\bar{x}_1', \bar{x}_2'', \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n)$, è un punto di massimo (o minimo) per la funzione \hat{f} sull'insieme delle soluzioni del sistema di disequazioni (1.2), allora $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$, con $\bar{x}_1 = \bar{x}_1' - \bar{x}_1''$, è un punto di massimo (o minimo) per la funzione f sull'insieme delle soluzioni del sistema (1.1).

In generale, sostituendo in ciascuna disequazione e nella funzione obiettivo ciascuna variabile x_i che non è vincolata ad essere positiva con la differenza $x_1' - x_1''$ di due variabili positive, possiamo supporre che tutte le variabili di scelta x_i siano positive.

Per evidenti motivi la funzione da minimizzare o massimizzare dicesi funzione obiettivo, i coefficienti c_i chiamati in genere coefficienti di costo o di guadagno, mentre i numeri b_i ed a_{ij} stanno per le risorse e i coefficienti tecnologici; infine x_1, x_2, \dots, x_n stanno per variabili o parametri di scelta, l'insieme X dei punti x di \mathfrak{R}^n soddisfacenti i vincoli del problema dicesi campo di scelta o regione ammissibile o accettabile.

E' evidente che possiamo sempre supporre che sia $c_0 = 0$, giacché se x è punto di minimo o massimo per f lo è anche per $f + \text{costante}$.

La programmazione lineare può essere utilizzata per la risoluzione del problema del trasporto.

I dati utilizzati nel problema del trasporto sono i seguenti :

- Unità di una data merce
- m origini
- n destinazioni
- Offerta s_j dall'origine i
- Domanda d_j nella destinazione j
- Costo c_{ij} per unità distribuita dall'origine i alla destinazione j

I parametri possono essere anche schematizzati in Tabella 13 o in Figura 20 .

Tabella 13: Parametri necessari

		Costo per unità distribuita				Offerta
		Destinazione				
		1	2	...	n	
Sorgente	1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1n}	s_1
	2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}	s_2
	⋮				⋮
	m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}	s_m
Domanda		d_1	d_2	...	d_n	

Ogni nodo sorgente ha una certa offerta di unità da distribuire ai nodi destinazione e ogni nodo destinazione ha una specifica domanda che deve essere soddisfatta dai nodi sorgente.

Ciascun'origine ha un'offerta prefissata di unità e l'intera offerta deve essere distribuita nelle destinazioni (s_i dall'origine i con $i = 1, 2, \dots, m$). Analogamente, ciascuna destinazione ha una domanda prefissata di unità e l'intera domanda deve essere ricevuta (d_j nella destinazione j , con $j = 1, 2, \dots, n$).

L'ipotesi che non ci sia margine di scelta nelle quantità che devono essere inviate o ricevute, significa che è necessario che ci sia un equilibrio tra l'offerta totale da tutti i nodi sorgente e la domanda totale in tutti i nodi di destinazione. Il problema del trasporto presenta soluzioni ammissibili se è soddisfatta l'equazione (1):

$$\sum_{i=1}^m s_i = \sum_{j=1}^n d_j \quad (1)$$

Il costo di trasporto da una qualunque sorgente a una qualunque destinazione è direttamente proporzionale al numero di unità trasportate. Di conseguenza, questo costo è proprio il costo unitario di trasporto moltiplicato per il numero di unità trasportate (con c_{ij} s'indica il costo unitario per la sorgente i e la destinazione j).

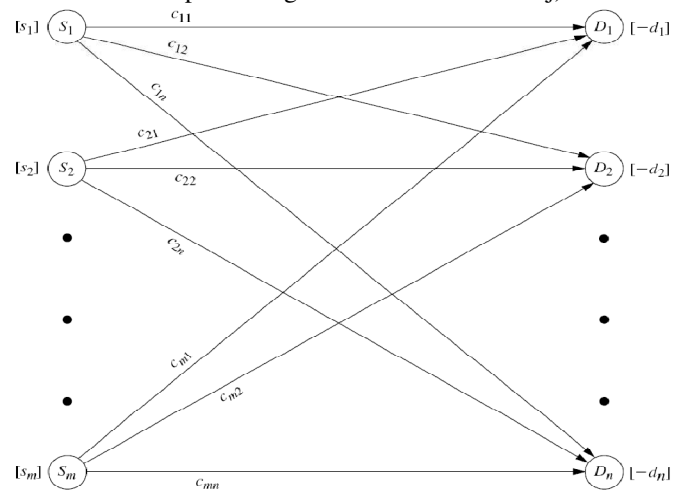


Figura 20: Rappresentazione grafica dei parametri

Gli unici dati necessari per un modello del problema del trasporto sono dunque:

- | | | |
|---|---|-----------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> - offerta - domanda - costi unitari | } | <u>PARAMETRI DI MODELLO</u> |
|---|---|-----------------------------|

Formulazione del problema

Siano Z il costo totale di trasporto e x_{ij} ($i=1,2,\dots,m$; $j = 1,2,\dots,n$) il numero di unità trasferite dalla sorgente i alla destinazione j , la formulazione come problema di programmazione lineare è la seguente:

$$\text{Minimizzare } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Soggetto ai vincoli

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = s_i & \text{per } i=1,2,\dots,m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j & \text{per } j = 1,2,\dots, n \\ x_{ij} \geq 0 & \text{per ogni } i \text{ e } j \end{cases}$$

5.3 Modelli di ottimizzazione su rete

Le reti sono presenti in diversi ambienti e in varie forme, si pensi per esempio alle reti per il trasporto, reti elettriche e reti per la comunicazione. La rappresentazione su rete è ampiamente usata per la modellazione di problemi in aree molto diverse tra loro quali la produzione, la distribuzione e la pianificazione, la dislocazione di servizi, la gestione delle risorse e la pianificazione finanziaria. Infatti, una rappresentazione su rete fornisce una visione e un aiuto concettuale talmente potenti per descrivere la relazione tra gli elementi dei sistemi che è usata virtualmente in ogni campo scientifico, sociale ed economico.

Una rete consiste in un insieme di linee che connettono coppie di punti. I punti sono chiamati nodi (o vertici); per esempio la rete in Figura 21 ha quattro nodi rappresentati da quattro cerchi.

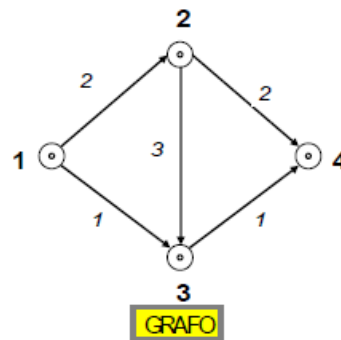


Figura 21: Esempio di grafo

Le linee sono chiamate archi (o collegamenti); per esempio, il grafo di Figura 21 ha cinque archi che possono rappresentare cinque strade. Gli archi sono etichettati utilizzando i due nodi che congiungono. Gli archi di una rete possono avere un flusso di qualche tipo, per esempio di autobus o automobili. Se il flusso lungo un arco è ammesso in entrambe le direzioni (per esempio una strada a senso unico) l'arco è detto orientato. La direzione è esplicitata aggiungendo una freccia alla fine della linea che rappresenta l'arco. Se il flusso su un arco è ammesso in entrambe le direzioni l'arco si dice non orientato. Si chiama cammino tra due nodi una sequenza di archi distinti che connettono questi nodi. Un cammino che inizia e termina nello stesso nodo è detto ciclo. Si dice che due nodi sono connessi se nella rete esiste almeno un cammino non orientato che li congiunge. La rete connessa è una rete in cui ogni coppia di nodi è connessa. La massima quantità di flusso che può essere trasportata su di un arco diretto è nota come la capacità dell'arco. Per i nodi, si distinguono quelli che sono generatori di flusso, attrattori di flusso, o nessuno dei due. Un nodo sorgente ha la proprietà che il flusso che esce dal nodo supera quello che entra. Il caso opposto è quello del nodo domanda in cui il flusso che entra nel nodo supera quello che esce dal nodo. Un nodo di trasferimento

soddisfa la proprietà di conservazione del flusso, e cioè il flusso in ingresso eguaglia quello in uscita.

Uno degli sviluppi più interessanti della Ricerca Operativa negli ultimi anni è stato l'inatteso e rapido sviluppo sia nella metodologia sia nell'applicazione di modelli di ottimizzazione su rete. Svariate innovazioni algoritmiche hanno avuto un forte impatto, come pure idee provenienti dall'informatica riguardo alle strutture dati e al trattamento efficiente dei dati.

Di conseguenza sono ora disponibili algoritmi e software e questi sono ampiamente usati per risolvere quei problemi che sarebbero stati altrimenti intrattabili due o tre decenni fa.

Con la teoria delle reti si possono risolvere svariati tipi di problemi, soprattutto nel campo dei trasporti, ma non solo. Stessi tipi di algoritmi possono risolvere problemi di altro tipo.

Per capire meglio quest'argomento, si sono considerati degli esempi. Prendendo in considerazione il problema del percorso minimo, che consiste nel trovare il cammino minimo che colleghi un nodo origine con un nodo destinazione su una rete, si nota che pur essendo un problema tipico del mondo dei trasporti è presente anche in modelli di evacuazione degli edifici, modelli di allineamento delle sequenze di DNA, e modelli di equilibrio delle linee di assemblaggio. Se invece consideriamo il problema di flusso a costo minimo, che risolve il problema di trovare il percorso che minimizza il costo assegnato un flusso sugli archi, esso viene anche applicato nelle procedure d'immagazzinamento e distribuzione o nella pianificazione delle flotte di veicoli.

L'ottimizzazione su reti consiste quindi nell'individuare configurazioni ottimali del Modello di Rete. Ad esempio:

- Lunghezza del Cammino di lunghezza minima tra A e B
- Valore del massimo Flusso inviabile da A a B
- Costo minimo della rete che connette un insieme di oggetti
- Classificazione ottima di oggetti secondo relazioni binarie

5.4 Formulazione del Minimum Cost Flow Problem

Il problema di flusso a costo minimo utilizza i seguenti dati:

1. Rete orientata e connessa.
2. Presenza di un nodo sorgente tra i nodi.
3. Presenza di un nodo destinazione tra i nodi.
4. Tutti i nodi che non sono origine e destinazione sono nodi di trasferimento.
5. Flusso attraverso un arco in una sola direzione. Nel caso in cui tra due nodi vi è un flusso in entrambe le direzioni, ciò sarà rappresentato da una coppia di archi in direzioni opposte.
6. Quantità massima di flusso è la capacità di quell'arco.

Il costo del flusso lungo un arco è proporzionale alla quantità del flusso stesso ed è noto il costo per unità di flusso. L'obiettivo è minimizzare il costo totale per spedire il flusso attraverso la rete così da soddisfare la domanda richiesta oppure massimizzare il profitto totale.

Si considerino una rete orientata e connessa con n nodi e almeno un nodo sorgente e un nodo destinazione.

Le variabili decisionali sono:

$$x_{ij} = \text{flusso lungo un arco } i \rightarrow j$$

Le informazioni a disposizione sono:

$$\begin{cases} c_{ij} = \text{costo per unità di flusso lungo un arco } i \rightarrow j \\ u_{ij} = \text{capacità dell'arco } i \rightarrow j \\ b_{ij} = \text{flusso esterno per il nodo } i. \end{cases}$$

Il valore b_{ij} dipende dalla natura del nodo i e, in particolare,

$$\begin{cases} b_i > 0 \text{ se il nodo } i \text{ è un nodo sorgente} \\ b_i < 0 \text{ se il nodo } i \text{ è un nodo destinazione} \\ b_i = 0 \text{ se il nodo } i \text{ è un nodo di trasferimento.} \end{cases}$$

L'obiettivo è minimizzare il costo totale del flusso attraverso la rete allo scopo di soddisfare una data richiesta.

Usando la convenzione che le sommatorie operano solo su archi esistenti, la formulazione di questo problema è la seguente:

$$\text{minimizzare } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Soggetto ai vincoli

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{j=1}^n x_{ji} = b_i \quad \text{per ogni nodo } i$$

e

$$0 \leq x_{ij} \leq u_{ij} \quad \text{per ogni arco } i \rightarrow j$$

Nei vincoli relativi ai nodi, la prima sommatoria rappresenta il flusso totale in uscita dal nodo i , mentre la seconda sommatoria rappresenta il flusso totale in entrata nel nodo i , cosicché la differenza risultante è il flusso netto per quel nodo.

In realtà non c'è alcuna garanzia che il problema abbia soluzioni ammissibili poiché questo dipende anche dagli archi presenti nella rete e dalle loro rispettive capacità. Comunque è necessario rispettare la seguente proprietà nel progettare una rete:

$$\sum_{i=1}^n b_i = 0$$

e cioè, il flusso totale generato dai nodi sorgente deve essere uguale al flusso totale richiesto dai nodi destinazione. Se i valori di b_i violano questa condizione, l'interpretazione ordinaria è che o le quantità fornite o quelle richieste (chiunque delle due sia in eccesso) in realtà rappresentino limiti superiori piuttosto che quantità precise. Inoltre per molte applicazioni b_i e u_{ij} hanno valori interi, ed è anche richiesto che i flussi x_{ij} siano interi.

Nella Figura 22 è rappresentata una rete con i relativi valori di flusso e di quantità dei nodi. Per questa rete è possibile applicare il problema in esame.

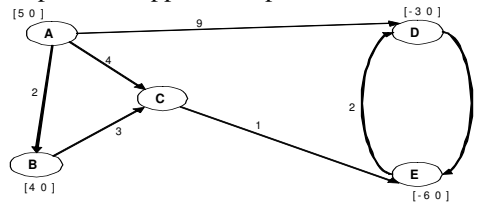


Figura 22: Esempio di rete per la procedura

$$\text{Min } Z = 2x_{AB} + 4x_{AC} + 9x_{AD} + 3x_{BC} + x_{CE} + 3x_{DE} + 2x_{ED}$$

vincolata a

$$x_{AB} + x_{AC} + x_{AD} = 50$$

$$-x_{AB} + x_{BC} = 40$$

$$-x_{AC} - x_{BC} + x_{CE} = 0$$

$$-x_{AD} + x_{DE} - x_{ED} = -30$$

$$-x_{CE} - x_{DE} + x_{ED} = -60$$

$$x_{AB} \leq 10$$

$$x_{CE} \leq 80$$

5.5 Formulazione del Facility Location Problem

L'algoritmo della localizzazione fa parte di un tipo di algoritmo chiamato *greedy* (avido). Un algoritmo *greedy* è un algoritmo che cerca di ottenere una soluzione ottima da un punto di vista globale attraverso la scelta della soluzione più "golosa" ad ogni passo locale.

Dati

- Insieme J di siti (localizzazioni) potenziali;
- Insieme I dei clienti;
- Costo c_{ij} di afferenza del cliente i al sito j;
- Costo f_j di attivazione del sito j.
- Capacità Q_j del sito j

Variabili decisionali

- Livello di attività ξ_j del magazzino j
- Quantità di prodotto trasportata γ_{ij} dal magazzino j al mercato i

L'obiettivo è trovare l'insieme J^* dei siti da attivare ed eventualmente assegnare ciascun cliente a uno dei siti attivati in modo da minimizzare il costo complessivo di attivazione e afferenza.

Il costo complessivo di attivazione e afferenza dipende esclusivamente dall'insieme di siti attivati $J \neq \emptyset$.

L'obiettivo è minimizzare:

$$Z(T) = \sum_{j \in J} c_{ij}(\gamma_{ij}) \sum_{j \in J} f_j(\xi_j)$$

Sottoposto ai vincoli:

- a) $\sum_{i \in I} \gamma_{ij} = \xi_j \quad \forall j \in J$
- b) $\sum_{j \in J} \gamma_{ij} = d_i \quad \forall i \in I$
- c) $\sum_{i \in I} \gamma_{ij} \leq Q_i \quad \forall j \in J$

$$\gamma_{ij} \geq 0, \forall i \in I, \forall j \in J; \xi_j \geq 0, \forall j \in J$$

I precedenti esprimono che:

- a) Il livello di attività ξ_j del magazzino j deve essere pari al volume dei beni trasportati a partire da questo.
- b) Il volume dei beni trasportati al mercato i deve essere pari alla sua domanda.
- c) Il livello d'attività ξ_j del magazzino j non superiore alla sua capacità Q_i

Nello studio sono stati considerati i costi di trasporto lineari pari a:

$$c_{ij}(\gamma_{ij}) = t_{ij} \gamma_{ij}$$

dove t_{ij} è il costo unitario di trasporto dal magazzino j al mercato i .

5.6 Formulazione del *Vehicle Routing Problem*

L'attività di distribuzione e/o di raccolta di merci dai luoghi ("sorgente") alle destinazioni che le richiedono è economicamente importante sia a livello aziendale che nazionale.

In generale la funzione costo di distribuzione è una combinazione di diversi elementi; elemento fondamentale della funzione costo è il costo di distribuzione dei prodotti finiti dagli impianti ai depositi e dai depositi ai clienti finali. Nella sua versione base, il *Vehicle Routing Problem* (VRP) richiede di soddisfare le richieste di un insieme di clienti, utilizzando una flotta di veicoli localizzata in uno o più depositi.

I problemi reali di un VRP possono essere di diversa tipologia e applicati a svariati campi della vita quotidiana:

- Distribuzione a supermercati;
- Distribuzione di snack e bevande a distributori;
- Distribuzione di prodotti petroliferi;
- Distribuzione/raccolta posta;
- Movimentazione di merci fra depositi;

- Movimentazione autovetture fra concessionarie e punti di produzione e stoccaggio;
- Distribuzione prodotti finiti e raccolta materie prime;
- Raccolta di rifiuti solidi urbano e smistamenti verso impianti di trattamento e/o smaltimento;
- *Routing* di “scuola-bus”
- Movimentazione merci all’interno di un magazzino;
- ...

Il costo di una soluzione al VRP nei casi reali può risultare una combinazione di:

1. Numero e tipo di ordini non evasi;
2. Costo dei veicoli e degli autisti utilizzati;
3. Distanza percorsa dagli automezzi;
4. Tempo impiegato dagli autisti;
5. Costo secondo tariffe di legge o contratti con ditte di trasporto;
6. ...

Altri costi non direttamente quantificabili ma che guidano il processo di risoluzione sono:

1. Qualità del servizio offerto ai clienti;
2. Assegnazione di viaggi ai trasporti privati;
3. ...

I problemi reali sono spesso caratterizzati da vincoli e complicazioni di diversa natura, legati alla tipologia di servizio da effettuare, alle modalità di viaggio etc...

Si riportano di seguito, a titolo esemplificativo alcuni dei vincoli che si possono riscontrare durante le attività di trasporto reali:

- giorni ed orari di visita ai clienti (es.: lunedì 8.00-13.00 e 14.00-17.00, martedì 10.00-13.00 e 17.00-18.00);
- raccolta e consegne (lo stesso mezzo che effettua le consegne raccoglie anche i vuoti);
- distribuzione di più prodotti con veicoli scompartati (es.: distribuzione di prodotti petroliferi);
- incompatibilità veicolo-cliente (es.: attrezzature di scarico richieste, strade troppo piccole);
- incompatibilità prodotto-veicolo (es.: interazione con i prodotti);
- layout di carico (es. : combinazione oggetti o pallet che possono essere caricati in un veicolo);
- viaggi che durano più giorni;
- veicoli che effettuano più viaggi al giorno;
- precedenza nelle consegne (es.: al cliente va lasciato il rimorchio che sarà ripreso prima di rientrare al deposito. Trasporto da cliente a cliente);
- più depositi interdipendenti (divisione netta dei clienti o integrazione).

VRP base: distribuzione da un deposito

Il VRP base è il problema in cui da un deposito (o impianto) centrale una flotta di automezzi deve rifornire un insieme di clienti. L’obiettivo è quello di pianificare un insieme di viaggi per gli automezzi al fine di soddisfare la domanda di distribuzione, minimizzando i costi dei viaggi.

Il Capacitated VRP (CVRP) è caratterizzato da automezzi tutti uguali e con capacità massima di trasporto (in peso o in volume).

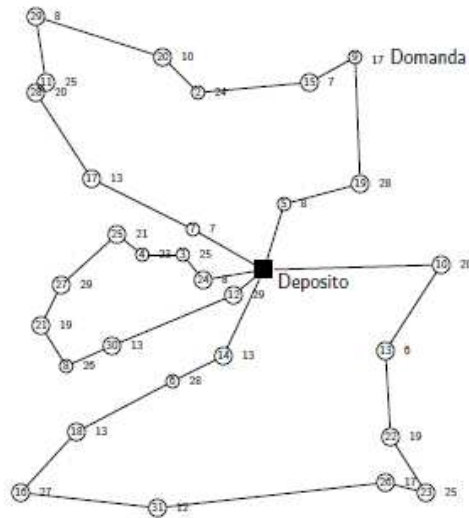


Figura 23: Schema di VRP

VRP con Time Windows (VRPTW)

Il VRPTW è una generalizzazione del VRP in cui il servizio di consegna e/o raccolta merce deve essere effettuato all'interno di un intervallo di tempo (TW, time window) definita da un tempo di inizio e un tempo di fine durante il quale il cliente deve essere servito (es: dalle 9.00 alle 12.00).

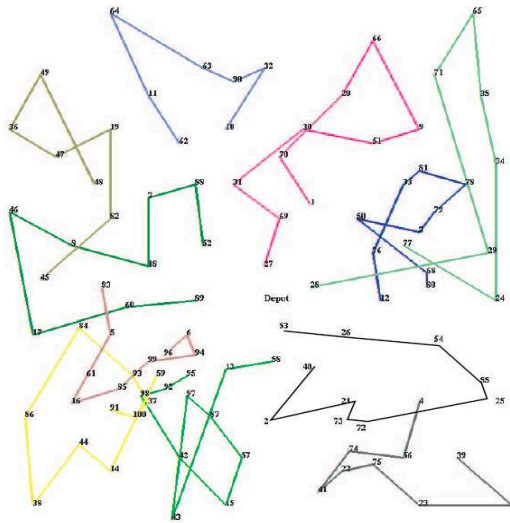


Figura 24: Schema di un VRPTW

VRP con Backhauls (VRPB)

Il VRPB è una generalizzazione del VRP in cui l'insieme dei clienti è partizionato in due sottosistemi: clienti ai quali deve essere consegnata merce (*delivery*) e clienti dai quali deve essere raccolta merce (*pickup*). Inoltre in ogni viaggio tutte le *delivery* devono essere effettuate prima delle *collection*. (Es: trasporto cibo).

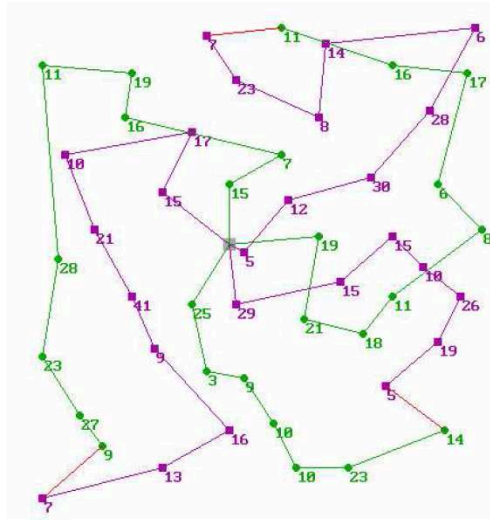


Figura 25: Schema di un VRPB

VRP con consegne e raccolte (VRPDP)

Nel VRP con consegne e raccolte (*pickup and delivery*) l'insieme dei clienti è partizionato in clienti di consegna e clienti di raccolta. A differenza del VRPB, non vi è alcuna precedenza fra le consegne e le raccolte di viaggio. Nel Last-In-First-Out VRP si possono consegnare le merci raccolte solo in ordine LIFO).

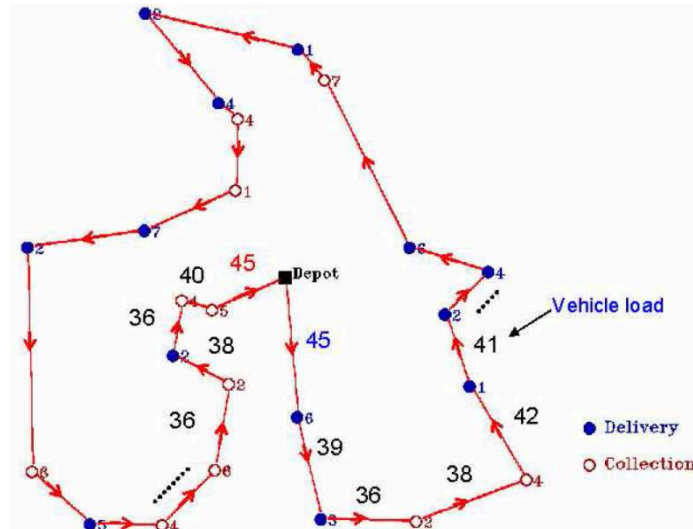


Figura 26: Schema di un VRPDP

Capacitated Arc Routing Problem (CARP)

Il CARP è il problema in cui da un deposito (o impianto) centrale una flotta di automezzi deve soddisfare le richieste associate ad un insieme di strade del territorio. L'obiettivo è quello di pianificare un insieme di viaggi per la flotta degli automezzi per soddisfare la domanda associata alle strade, minimizzando i costi di viaggio (esempio tipico: consegna del latte).

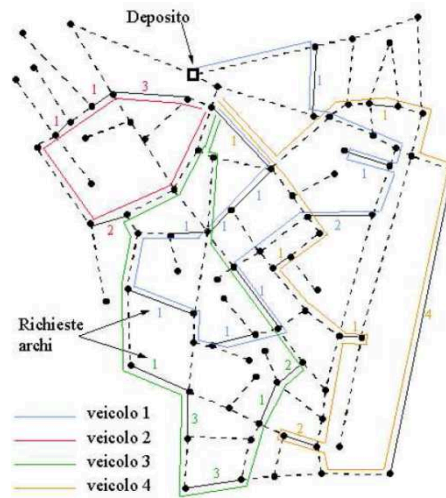


Figura 27: Schema di un VRPDP

Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)

Il PVRP consiste nel pianificare, per un determinato periodo di tempo, l'insieme di viaggi che una flotta di veicoli localizzata ad un deposito deve effettuare in modo da soddisfare il livello di servizio di ogni cliente, minimizzando il costo di distribuzione.

Formulazione del VRP

È dato un grafo $G = (V, A)$, dove il vertice O rappresenta il deposito, ed i vertici $V' = \{1, \dots, n\}$ rappresentano i clienti.

- ad ogni cliente $i \in V'$ è associata una domanda positiva q_i .
- ad ogni arco $(i, j) \in A$ è associato un costo non negativo c_{ij} .
- M veicoli identici di capacità Q sono localizzati al deposito.
- costo di un viaggio (o route): somma dei costi degli archi che compongono il viaggio.

Caratteristiche del problema:

- ogni veicolo deve effettuare un viaggio (route) partendo con carico minore o al più uguale alla capacità Q ;
- ogni viaggio deve iniziare e terminare al deposito;
- ogni cliente deve essere visitato una ed una sola volta da un solo veicolo.

Obiettivo:

Disegnare M route, una per ogni veicolo in modo tale che tutti i clienti siano visitati e la somma dei costi della route sia minima.

5.7 Strumenti software per la risoluzione di problemi logistici

In commercio è possibile trovare numerose compagnie in grado di fornire strumenti che possano teorizzare e risolvere il problema dei trasporti applicato a uno specifico problema tramite accurati modelli matematici e applicazioni software. Alcune di esse, però, focalizzano il loro obiettivo sulla risoluzione matematica del problema e non sulla rappresentazione grafica tramite strumenti GIS.

5.7.1 Sistemi informativi territoriali

I sistemi informativi territoriali (SIT) o *Geographical Information Systems* (GIS), sono strumenti informatici che consentono di gestire ed elaborare informazioni di varia natura associate al territorio in modo statico o dinamico, nella fattispecie quelle attinenti ai sistemi di trasporto che vi sono impiegati. I GIS si differenziano rispetto alle usuali cartografie numeriche essendo composti da due elementi principali: un archivio o un insieme di archivi, di dati alfanumerici o iconografici, e da uno o più archivi di dati geografici (immagini vettoriali). In questo modo, si può gestire una banca dati contenente attributi alfanumerici, i quali vengono associati agli elementi geometrici costituenti la semplice parte cartografica.

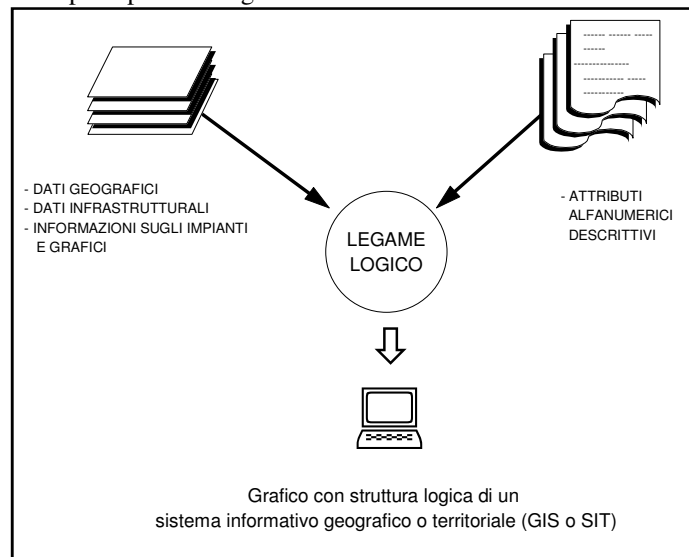


Figura 28: Schema generale di sistemi informativi territoriali

I sistemi informativi territoriali hanno cominciato a suscitare un'attenzione diffusa alla fine degli anni ottanta, quando oramai si erano consolidate le tecniche di impiego dei sistemi di gestione di banche dati (*Data Base Management Systems* - DBMS) e le tecniche per la gestione delle rappresentazioni grafiche (CAD). Da allora, i GIS hanno cominciato ad essere applicati su stazioni di lavoro informatiche (*workstation*), *host computer*, *personal computer*.

Appare dunque evidente come il sistema informativo territoriale costituisca un elemento basilare della telematica nel trasporto merci e passeggeri, essendo adatto a risolvere numerose problematiche tipiche del settore: su di esso possono essere controllate le flotte ed i singoli veicoli, le informazioni sui carichi in movimento, le infrastrutture stradali, ferroviarie, portuali ed interportuali a disposizione, le condizioni del traffico, le possibilità di carico in certe località per evitare il viaggio a vuoto, e così via.

La configurazione di base di un sistema informativo territoriale è costituita da una piattaforma hardware e da un software per l'elaborazione di informazioni grafiche e alfanumeriche associate all'ambiente, cioè il GIS vero e proprio. Oltre al software di base ed applicativo, possono essere presenti periferiche per l'inserimento dati (quali scanner, digimetri, GPS) o l'archiviazione degli stessi. Sono poi naturalmente impiegate periferiche per l'uscita dei dati, quali stampanti, plotter, dischi magnetici.

La struttura della cartografia numerica viene costruita mediante delle primitive grafiche o cartografiche. Si può pensare alle primitive come agli elementi per la rappresentazione degli "oggetti" presenti sul territorio (strade, ferrovie, interporti, porti, aeroporti, automezzi, carri ferroviari, strutture, caserme, depositi,...). In tal senso, le primitive possono essere distinte in due classi fondamentali: le primitive geometriche, costituite da elementari figure euclidee, e le primitive complesse, per la cui definizione si ricorre alle primitive geometriche ed alle loro interrelazioni. Le componenti vettoriali, date dunque da figure elementari della geometria euclidea, possono essere:

- punti e nodi;
- linee;
- poligoni.

Ad esse vengono associati attributi alfanumerici, che sono le descrizioni, i nomi, i numeri, le immagini, le funzioni associate agli oggetti. Si parla inoltre di "copertura", per indicare gli oggetti associati al territorio con i relativi attributi.

Le possibili applicazioni dei GIS nel campo della progettazione, gestione, esercizio e pianificazione dei trasporti sono piuttosto numerose. In particolare si possono indicare:

- programmazione ottimale dei percorsi di mezzi pubblici e privati, cicli di presa e consegna;
- supporto per la progettazione di infrastrutture, come, ad esempio, ubicazione dei siti a rischio e delle merci pericolose;
- gestione reti stradali, ferroviarie...;
- coordinamento unità mobili;
- monitoraggio ambientale;
- realizzazione e gestione cartografie.

Alcuni impieghi principali si ritrovano nella strutturazione della rete ferroviaria e stradale. La copertura relativa alla vie di comunicazione, per esempio, è un aspetto del territorio che riguarda il Ministero dei Trasporti, le Forze Armate, l'ANAS ed il Touring, così come le carte catastali possono interessare l'Erario. I GIS trovano inoltre impiego nel controllo e gestione delle flotte di automezzi militari e civili, con le relative informazioni su carichi o passeggeri a bordo.

5.7.2 Importanza dell'uso dei GIS nel settore trasporti

I problemi legati allo studio e pianificazione dei trasporti sono strettamente legati alle caratteristiche del territorio. In realtà il settore dei trasporti presenta un carattere multidisciplinare e quindi i problemi che possono insorgere nell'organizzazione, pianificazione e progettazione di un sistema sono svariati e riguardano diversi campi di studio: ingegneria, economia, scienze sociali. I diversi aspetti legati all'analisi dei flussi di traffico hanno suggerito e determinato un approfondito esame delle possibili applicazioni e relativi vantaggi dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) nel settore dei trasporti. La grande mole di dati da gestire e lo stretto legame con il territorio rende l'uso dei GIS indispensabile.

Il GIS (*Geographical Information System*) si può definire come un sistema informatico che integra dati geometrici e alfanumerici relativi a un determinato territorio. Esso consente di mettere in relazione tra loro dati di origine diversa associati a un elemento con comune riferimento geografico, in modo da poter estrarre nuove informazioni a partire da dati esistenti. Il GIS offre ampie possibilità d'interazione con l'utente e un insieme di strumenti che ne facilitano la personalizzazione e l'adattamento alle problematiche specifiche. Il progredire delle tecniche per la gestione di archivi (*Data Base Management Systems*, DBMSs) e per il trattamento delle informazioni grafiche (*Computer Aided Design*, CAD) ha infatti consentito di sviluppare e perfezionare pacchetti software in grado di analizzare ed elaborare dati differenti, georeferenziati, in altre parole riferiti a un comune sistema di coordinate geografiche che li colloca in una precisa posizione dello spazio.

La novità di questi software consiste nell'associare serie statistiche, grafici, immagini fisse e in movimento, materiali sonori relativi a specifiche entità territoriali, migliorandone la visualizzazione e la comunicazione e favorendone l'investigazione analitica e/o comparativa. I GIS possono dunque rappresentare uno strumento particolarmente utile e versatile nell'ambito della ricerca, come nelle attività divulgative a esse connesse, e nelle elaborazioni che abbiano a oggetto fenomeni dotati di rilevanza territoriale, come ad esempio analisi trasportistiche.

Secondo la definizione di Burrough (1986) "il GIS è composto da una serie di strumenti software per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale".

Quando si parla di GIS, bisogna distinguere diverse tipologie d'informazioni che possono essere elaborate, tra le quali quelle:

- Geometriche: relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti rappresentati; quali la forma (punto, linea, poligono), la dimensione e la posizione geografica;
- Topologiche: riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti (ad esempio: connessione, adiacenza, inclusione);
- Informative: riguardanti i dati (ad esempio numerici, testuali) associati a ogni oggetto.

Un aspetto fondamentale che caratterizza i dati manipolati tramite i GIS è quello geometrico. Si memorizza infatti la posizione del dato impiegando un sistema di proiezione reale che definisce la posizione geografica dell'oggetto. Si possono gestire

contemporaneamente i dati provenienti da diversi sistemi di proiezione e riferimento (es. UTM o Gauss Boaga).

E' possibile prevedere la gestione delle informazioni in un database relazionale che offre la possibilità di visualizzare istantaneamente i dati associati ad un oggetto e gestire, elaborare e interpretare grosse moli di dati attraverso strumenti ad interfaccia utente.

La manipolazione dei dati attraverso i GIS permette, a partire da un luogo geografico o da un ambito politico-amministrativo prescelto (a es. circoscrizione, comune, provincia, regione, nazione):

- di accedere ad una visione simultanea e riassuntiva di tutte i dati connessi al luogo;
- di comparare speditamente, sotto forma di mappe tematiche, grafici e tabelle, i dati presi in esame con quelli analoghi relativi ad altri luoghi o ambiti;
- di richiamare, comporre ed elaborare strati informativi diversi (*layers*). Questa elaborazione prende il nome di *overlay topologico* grazie alla quale ad esempio si può effettuare una sovrapposizione tra gli elementi di temi diversi per creare un nuovo tematismo (ad esempio, sovrapporre il tema dei confini di un ATO con i confini dei comuni in modo da visualizzare i limiti e le relative informazioni aggregate);
- di produrre output diversificati (mappe tematiche, grafici e tabelle), cioè analisi geostatistiche, in versione video, *files* o stampa.
- di eseguire *query* spaziali, in altre parole delle interrogazioni di basi di dati a partire da criteri spaziali (vicinanza, inclusione, sovrapposizione etc.)
- di eseguire elaborazioni tramite *Network Analysis*, algoritmi che utilizzano una rete di elementi lineari.
- di eseguire elaborazioni tramite *Spatial Analysis*, algoritmi che utilizzano proprietà topologiche, geometriche o geografiche.

Il potere della geografia nei dati

I sistemi basati su GIS sono stati da sempre utilizzati nell'ambito del settore Trasporti e Mobilità.

E' sempre maggiore la convinzione dell'importanza di avere a disposizione informazioni quanto più accurate e aggiornate per dare un supporto valido alla mobilità sostenibile e permettere dunque un miglior utilizzo delle risorse infrastrutturali a fronte di una domanda sempre maggiore. Allo stesso tempo, l'utilizzo di strumenti avanzati per la manipolazione dell'informazione geografica diventa cruciale per il posizionamento, ad esempio, di particolari siti per infrastrutture quali strade, ferrovie, aeroporti, porti e quant'altro. Tramite tali strumenti, infatti, è possibile valutare l'impatto ambientale oltre che la progettazione delle infrastrutture stesse. Le case produttrici di software, rilevando il bisogno crescente di sviluppare un prodotto specializzato a tali scopi, si sono date battaglia per la realizzazione di strumenti sempre più accurati e ricchi di funzionalità.

Di seguito saranno mostrati i software che, insieme a TransCAD, rappresentano la fetta maggiore di utilizzo in questo segmento di mercato.



ArcGIS rappresenta una valida piattaforma software sulla quale ESRI, una grande azienda del settore, basa la realizzazione di tutti i suoi software per la gestione dell'informazione geografica.

I settori di applicabilità sono molti e tra i principali (relativi alla mobilità) possiamo trovare:

- ITS (Intelligent Transportation Systems) Sono i sistemi che si occupano di supportare il trasporto Pubblico e Privato fornendo l'ottimizzazione delle risorse e delle infrastrutture disponibili.
- Progettazione Infrastrutture Sono i sistemi che si occupano di supportare la valutazione dell'impatto ambientale delle infrastrutture da realizzare e delle attività connesse alla realizzazione.
- Gestione Operativa, è la gestione di grandi strutture che si estendono su un territorio molto ampio come ad esempio le reti di trasporto stradale, ferroviario, aereo ecc..

Tramite Arclogistics, ESRI fornisce inoltre un valido supporto alla gestione della logistica. E' possibile, tramite questo prodotto migliorare le proprie prestazioni quotidiane di gestione della flotta cercando di minimizzare i costi e con il minor impatto ambientale (anche i termini di consumo di carburante). In particolare, tramite tale strumento è possibile costruire un modello di ottimizzazione attraverso percorsi multi-stop tenendo conto dei vari vincoli (orari e non) e della flotta dei veicoli a disposizione. L'immagine seguente mostra un particolare di Dubai realizzato tramite ArcGIS.

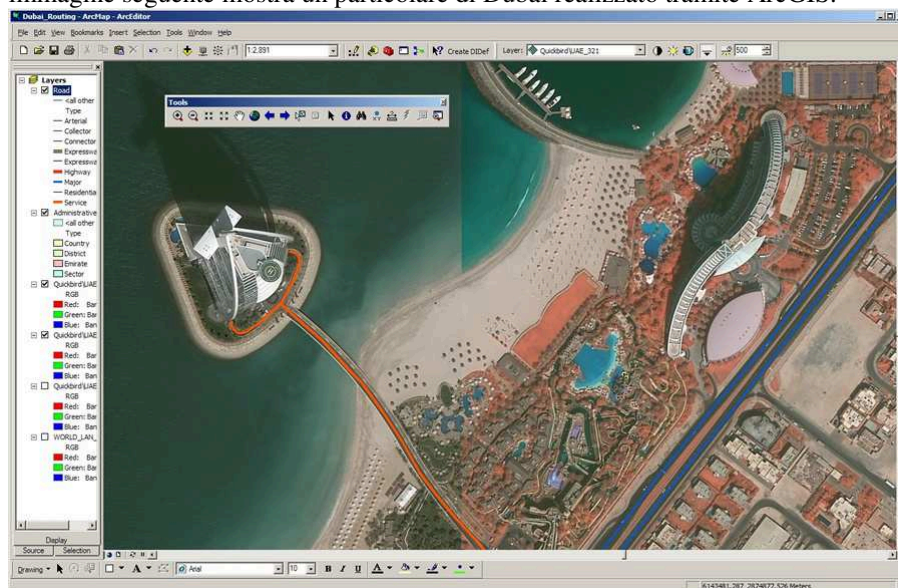


Figura 29: Interfaccia grafica ArcGIS

GeoMedia® di Intergraph

Il settore dei trasporti si avvale da sempre di strumenti in grado di divulgare le informazioni nel più rapido tempo possibile e soprattutto in maniera quanto più accurata. Intergraph, tramite dei prodotti sviluppati nel corso dei dieci anni di esperienza nel settore, aiuta a comprendere e a sviluppare le migliori soluzioni per ogni aspetto concernente la conservazione dei dati geografici, la loro manipolazione, la loro analisi e il modo di presentarli.

La suite di prodotti GeoMedia è un insieme di applicazioni ben integrate che forniscono un'ampia gamma di funzionalità molto utili alle industrie quali enti governativi che si occupano della realizzazione di mappe geografiche, gestione delle infrastrutture e del territorio.

Il prodotto è specializzato per essere utilizzato in situazioni di emergenza, dove è di fondamentale importanza reperire con precisione informazioni geografiche localizzate su particolari punti nella mappa del territorio (es. situazioni quali attacchi a basi militari).

Il maggiori benefici che un cliente può trarre da GeoMedia sono ad esempio la possibilità di lavorare su una piattaforma compatibile con la maggior parte di prodotti per la manipolazione dell'informazione geografica (ad esempio CAD) oppure la facilità di integrazione dei dati prodotti con i più famosi browser per l'informazione geospaziale quali Microsoft Virtual Earth e Google Maps.

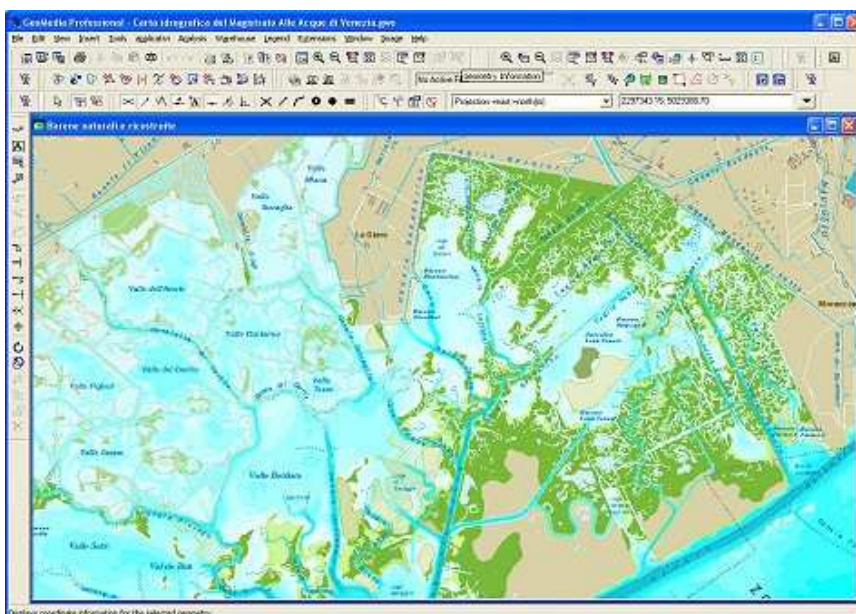


Figura 30: *Interfaccia grafica Geomedia*

I software facenti parte della suite GeoMedia hanno la caratteristica di fornire gli elementi territoriali ed ogni altro componente geografico come oggetti veri e propri, caratterizzati da informazioni ed attributi spaziali, superando l'ormai obsoleta cognizione che vede il GIS come una sorta di "CAD modificato", che utilizza primitive geometriche quali punti, linee, poligoni per rappresentare elementi geografici.

La seguente mostra uno *screen shot* della mappa della laguna di Venezia realizzata con *GeoMedia Professional*.

5.7.3 TransCad: generalità sul software

Il presente studio ha utilizzato il software commerciale TransCAD, acquistato dall'Università di Catania e in dotazione al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale.

TransCAD è il primo GIS dedicato ai trasporti, alla logistica e alla ricerca operativa utilizzato per la gestione e l'analisi dei dati dei trasporti. Esso combina GIS e una serie di modelli di tipo trasportistico in un unico ambiente integrato disponibile su piattaforme Windows. TransCAD è stato progettato in modo da fornire uno strumento utile per eseguire elaborazioni di tipo trasportistico che hanno come oggetto fenomeni di rilevanza territoriale.

Esso rappresenta un'innovazione molto importante nel campo dei trasporti poiché permette la rappresentazione con il GIS dei risultati delle analisi trasportistiche senza la costruzione di applicazioni personalizzate o di complicati moduli d'interscambio dati. In Italia è già utilizzato da Enti come le Ferrovie dello Stato, l'Automobile Club d'Italia, i Comuni di Roma e Messina, la Provincia di Sassari, l'Osservatorio Vesuviano, ACI Consult, il Consorzio Superiore dei Trasporti, l'ENEA, il CO.TRA.L, Università quali La Sapienza e Tor Vergata e altre società private. Le analisi trasportistiche prevedono la risoluzione di algoritmi associati a problemi esistenti sul territorio che posso richiedere una grossa mole di dati d'input e che quindi richiedono un software per minimizzare al massimo i tempi di elaborazione.

TransCAD è un pacchetto software che utilizza algoritmi di ricerca operativa di tipo trasportistico integrati in ambiente GIS. Ci sono svariate ragioni per le quali è importante lavorare con un GIS per affrontare problemi che riguardano questo settore.

Grazie ai GIS, ad esempio, si può rendere molto più precisa l'elaborazione di modelli presenti al suo interno. Le distanze tra i nodi di una rete e i tempi di viaggio, infatti, sono basate sull'attuale schematizzazione della rete stradale e sulla corretta rappresentazione degli intercambi tra gli elementi in modo da formare i percorsi. Inoltre, attraverso l'uso di una rete schematizzata attraverso polilinee, si possono specificare attributi complessi quali l'esclusione di un arco della rete, ritardi e intersezioni, sensi unici di marcia e zone in costruzione.

Un altro aspetto che rende l'uso dei GIS efficiente, è quello legato alla facilità con la quale si possono preparare dati da associare agli elementi e con la quale si possono individuare e correggere errori prima che causino problemi.

Da non sottovalutare è la capacità di rendere visibili i risultati delle elaborazioni attraverso delle vere e proprie soluzioni grafiche che rendono facile la comprensione anche a chi non si è mai scontrato con problemi di tipo trasportistico. Gli utenti del software possono quindi presentare informazioni altamente tecniche in un modo diretto e facilmente intuibile.

Descrizione TransCAD

Il software è stato sviluppato dalla *Caliper Corporation*, che ha sede nella città di Newton nel Massachusetts, e nasce per soddisfare l'esigenza di tutti coloro che lavorano nel campo dei trasporti di risolvere algoritmi complessi analizzando dati caratterizzanti elementi del territorio.

TransCAD al suo interno ha cinque maggiori componenti:

- Un sistema GIS (*Geographic Information System*) che consente di collegare facilmente dati tabellari agli elementi geografici, effettuare interrogazioni e visualizzare i risultati. Grazie a questo strumento si possono creare e personalizzare le mappe.
- Un sistema di modellazione dati che fornisce delle utilità di manipolazione e visualizzazione specifiche per i trasporti. Esso include:
 - La memorizzazione d'informazioni sugli archi della rete, per facilitare l'identificazione e l'analisi della rete contenente *link* monodirezionali o bidirezionali.
 - L'estensione dei modelli di dati per elementi non topologici in modo da rappresentare attributi dei link quali sovrappassi o sottopassi.
 - Memorizzazione di dati relativi a ritardi o restrizioni in modo da fornire una rappresentazione più realistica della rete.
 - Procedure che elaborano uscite grafiche, consentono analisi spaziale e interrogazioni interattive.
 - Memorizzazione e elaborazione di dati contenuti in matrici, come ad esempio matrici di costo, di viaggio o di flusso.
 - Dati geografici, demografici e relativi a territori americani.
 - Modelli utilizzati nei trasporti. Per capire le procedure bisogna che gli utenti conoscano già determinate definizioni o metodi e TransCAD fornisce anche una bibliografia alla quale riferirsi. Gli algoritmi implementati sono quelli più comuni che si possono presentare nella logistica e nei trasporti. Tuttavia si possono presentare situazioni particolari che richiedono dei nuovi metodi di soluzione.
- Un linguaggio di sviluppo per creare macro, applicazioni server, prodotti finali con interfacce personalizzabili e applicazioni web. Piattaforma di sviluppo (GISDK®) contiene tutti gli strumenti necessari per creare macro, procedure o applicazioni personalizzate.
- Un'interfaccia per la lettura dati da GPS.

TransCAD può essere utilizzato per tutti i modi di trasporto, ad ogni scala o livello di dettaglio, dalla rappresentazione dell'intera superficie terrestre alla sezione di censimento. Inoltre è caratterizzato da un'architettura di sistema di tipo open che permette l'utilizzazione dei dati geografici contemporaneamente da parte di più utenti della stessa rete e può collegarsi agli altri software tradizionali quali database relazionali, fogli di calcolo, elaboratori di testo.

L'interfaccia grafica

L'interfaccia è quella tipica delle applicazioni Windows. Presenta quindi un *menù dei comandi* e un *menù degli strumenti* e con il tasto destro del mouse si può anche accedere al *menù contestuale*.

TransCAD visualizza le informazioni nello schermo del computer in cinque formati diversi: mappe, dataview, matrici, viexs, figures and layouts. Questi elementi sono visualizzati ognuno in una finestra separata dall'altro e possono essere memorizzati nell'hard-disk del computer in modo da poter essere modificati con un diverso software o prevedere il loro utilizzo futuro.

Le *Mappe* visualizzano delle caratteristiche geografiche, che potrebbero presentarsi in una comune carta geografica, in forma numerica. Con TransCAD è possibile creare uscite grafiche utilizzando una serie completa di strumenti di disegno a mano libera e di annotazioni cartografiche, decine di stili, colori e simboli scalabili per realizzare mappe tematiche. Include inoltre strumenti per la creazione di pagine di layout sui quali combinare una o più mappe con grafici, tabelle dati e simboli di qualsiasi tipo in una singola presentazione. È possibile anche creare collegamenti ipertestuali tra elementi delle mappe e immagini, mappe e documenti di Microsoft Office.

I *Dataviews* visualizzano le informazioni legate ai file geografici o basi di dati in forma tabulare in modo da poter globalmente comparare dati che si riferiscono allo stesso campo, compiere delle ricerche secondo un indice conosciuto presente in un campo, stampare e creare nuovi record e organizzare al meglio il modo in cui i dati sono visualizzati.

Le *Matrici* rappresentano flussi di veicoli, flussi di merce e tempi di spostamento tra coppie origine-destinazione che sono essenziali per molte applicazioni trasportistiche. Si possono organizzare dati relativi ai trasporti come matrici di costo, di profitto e di distanze. TransCAD offre funzioni per la creazione e la gestione di matrici e strumenti per le analisi spaziali e la visualizzazione avanzata dei dati delle matrici.

Le *Figures* visualizzano i dati tabellari in forma di mappe 3D, grafici come istogrammi, grafici a linee o a torte. Si possono creare da mappe, dataview e matrici in modo da poter visualizzare caratteristiche legate i dati in modo diretto.

I *Layouts* uniscono qualsiasi numero di mappe, dataview, matrici e figure in un'unica presentazione.

Rispetto ai GIS convenzionali TransCAD presenta anche una serie di strumenti per la rappresentazione dei dati come:

- diagramma delle intersezioni per visualizzare i flussi e le manovre di svolta;
- grafici a nastro per visualizzare l'andamento delle caratteristiche delle infrastrutture lungo un itinerario; ciò permette di individuare facilmente i flussi sui vari sistemi di trasporto e le caratteristiche di rete;
- strumenti per definire le restrizioni e i ritardi delle svolte alle intersezioni;
- strumenti per definire restrizioni e ritardi dei trasferimenti tra infrastrutture.

6 UN MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE PER LA GESTIONE “ON DEMAND” DELLA RACCOLTA DEI RIFIUTI

Uno dei grandi problemi legati al traffico e all'inquinamento in ambito urbano è il trasporto delle merci, tra le quali rientrano certamente anche i Rifiuti Solidi Urbani (RSU) e i servizi di raccolta associati.

Attualmente lo scenario prevalente con cui viene attuata la raccolta differenziata (RD) dei rifiuti, nelle regioni del Sud Italia, è mediante contenitori stradali, i quali hanno una bassa resa, una bassa efficienza, ma costi di gestione contenuti (rapporto rifiuti ISPRA 2010). Solo in pochissimi centri abitati il sistema prevede la raccolta separata delle diverse frazioni che compongono i rifiuti solidi urbani.

In queste regioni, il costo aggiuntivo della raccolta differenziata non può neanche lontanamente venire compensato dai ridotti ricavi (vendita materie prime seconde e mancato conferimento in discarica) a seguito delle bassissime percentuali di recupero ottenute (inferiori al 10% in media) e conseguibili nel breve periodo sul territorio. Ciò porta ad una generica sfiducia e disillusione, nei confronti della raccolta differenziata, nell'amministrazione prima e nell'utenza poi, che non ne vedono un'applicazione efficace.

Altro aspetto fondamentale è la forte componente di elusione ed evasione da parte di un'utenza cui, con il sistema di raccolta attuale (contenitori stradali), non può essere correttamente applicato un sistema di copertura di costi del servizio a tariffa come avviene invece per la maggioranza degli altri servizi (energia, acqua, telefono). Un aspetto fondamentale, infatti, per garantire un servizio di raccolta efficiente è proprio quello della corretta applicazione del sistema tariffario attraverso un modello PAYT (acronimo inglese che significa “paghi quanto butti”), che, prevedendo l'imposizione di tariffe basate sul volume o sulla quantità di rifiuti prodotti, incentivano i cittadini a ridurre la quantità di rifiuti residui (la tariffa prevista per le frazioni riciclabili è, infatti inferiore). Per una reale applicazione del principio “chi inquina paga”, l'esigenza del Gestore è quella di una attribuzione puntuale a ciascuna utenza domestica della quantità di rifiuto prodotto.

Specie nel contesto della regione Sicilia, la presenza di un sistema intelligente del tipo “PAYT” può rappresentare un valido supporto per contrastare la quota, non certo fisiologica, di evasione ed elusione che allontana dalla copertura del costo del servizio creando enormi buchi di bilancio (ad oggi quasi un miliardo e mezzo di euro).

6.1 Importanza della raccolta dell'organico nella raccolta differenziata

Per raggiungere gli obiettivi previsti dal DM 36/2003 sulla raccolta differenziata e soprattutto i target posti dalla normativa europea, occorre organizzare al meglio ed implementare la raccolta della frazione organica dei rifiuti. La gestione di tale frazione può considerarsi come la più critica rispetto a quella delle altre frazioni dei RSU, per motivi di carattere sociale (partecipazione motivata e consapevole dei cittadini), per ragioni ambientali (fermentazioni, odori, percolati, attrazioni di animali), per ragioni economiche legate sia all'organizzazione del servizio di raccolta (modalità e frequenza di raccolta) sia alla gestione diretta ed indiretta della frazione raccolta. Una volta

raccolto in modo separato, il materiale può prendere strade diverse: compostaggio, bioessiccazione, digestione anaerobica, ecc.

Secondo i dati dell'ISPRA gli scarti organici costituiscono un terzo dei rifiuti cittadini: non è quindi un problema di poco conto quello di cui ci occuperemo.

6.1.1 La frazione Organica dei rifiuti urbani

A fronte degli obiettivi posti dalle recenti normative europee e nazionali, ispirate al principio della diminuzione dello smaltimento diretto dei rifiuti in discarica associata ad una riduzione alla fonte, al recupero ad una attività concreta ed efficiente di raccolta differenziata; assume particolare importanza l'esigenza di sapersi dotare di strumenti efficaci, che consentano di organizzare un sistema di gestione dei rifiuti che garantisca il raggiungimento di quegli obiettivi definiti dalla legislazione.

Per quanto riguarda l'obiettivo di legge (36/2003) di riduzione dei RUB al 2011 (115 kg/pro capite/anno) ed al 2018 (81 kg/pro capite/anno), si evidenzia come alla data attuale (2013) queste prescrizioni, principalmente nel sud Italia e in particolare anche nella regione Sicilia, sono state completamente disattese. E' però un dato ormai consolidato che, specie nelle realtà dove la percentuale di raccolta differenziata (RD) viaggia ancora su pochi punti percentuali, il raggiungimento dei relativi obiettivi di legge non possa essere perseguito senza un importante potenziamento della raccolta della frazione umida.

Per raggiungere gli obiettivi previsti dal legislatore si rende necessario perfezionare ed incrementare la raccolta differenziata specie dell'umido di origine domestica, da grandi utenze e da pubblici esercizi, che assieme agli scarti da giardino (verde) costituiscono più del 30% del rifiuti urbano.

È proprio nel caso della frazione organica che si riscontrano problematiche nelle varie fasi di raccolta e trattamento. La gestione di questa frazione di rifiuto risulta, infatti, complessa sia perché richiede un impegno consapevole del cittadino sia perché comporta un costo non indifferente al gestore del servizio di igiene urbana a causa della necessità della frequenza nella raccolta e nell'impiego di mezzi a tenuta, per la natura intrinseca (putrescibilità) della tipologia di rifiuto.

A seconda del sistema di raccolta, si individuano due tipologie di frazione organica dei RU, ognuna con caratteristiche diverse:

- indifferenziata con separazione meccanica
- differenziata proveniente da utenze domestiche e da grandi utenze (mense, mercati, ecc..).

6.1.2 I modelli di raccolta italiani della frazione organica all'interno degli approcci europei

Sotto lo stimolo del vecchio D.lgs. 22/97, in particolare a causa degli obiettivi di raccolta differenziata da esso individuati, in Italia si è diffuso in maniera crescente il sistema di raccolta dello scarto biodegradabile; in particolare accanto allo sviluppo della raccolta dello scarto da giardino, si è registrato un deciso incremento della raccolta dello scarto alimentare ("scarto di cucina" o "umido").

In altri paesi europei assieme allo scarto da cucina si raccoglie anche lo scarto verde. Ad esempio in Germania ed Austria si raccoglie il "bioabfall", ossia il "rifiuto biologico" che comprende oltre agli avanzi del pasto (raccolti integralmente) anche gli

scarti ligneocellulosici. In Olanda e Fiandre, si raccoglie il cosiddetto “GFT” (o “VGF” in inglese, ossia “Vegetable, Garden, Fruit”) che in sostanza è una miscela di scarto da giardino e della porzione cruda dello scarto alimentare. La distinzione tra i due diversi flussi della frazione organica, permette di poter intervenire, migliorandole, su alcune performances della raccolta differenziata, quali:

- una maggiore intercettazione di scarti di cucina
- conseguentemente una minore fermentescibilità del rifiuto residuo da smaltire, con conseguente diminuzione della frequenza di raccolta
- un contenimento dei costi di esercizio del sistema di raccolta
- il contenimento delle quantità complessive di scarti da giardino raccolti e dunque di rifiuti da smaltire.

Inoltre bisogna tenere in considerazione la sostanziale diversità merceologica e reattività biochimica tra lo scarto di tipo alimentare (umido) ed il materiale lignocellulosico di cui è costituito lo scarto da giardino; tale diversità si traduce in opportunità di una differente articolazione del sistema di raccolta, che tenga conto della possibilità di semplificare criteri e costi di gestione della raccolta del verde.

Il peso specifico nettamente diverso dei due materiali, costringe da un lato l'utilizzo di veicoli a compattazione per la raccolta dello scarto verde, necessaria a diminuire le volumetrie in gioco (necessità costosa), dall'altro invece l'impiego di veicoli non compattanti per lo scarto alimentare, potendo in questo modo attuare un razionalizzazione del servizio ed un contenimento dei costi di gestione.

A causa della natura intrinseca dello scarto alimentare, cioè a causa della sua elevata fermentescibilità e al suo contenuto d'umidità, si rende necessaria l'individuazione di strumenti di raccolta adatti, di frequenze opportune per garantire la massima pulizia ed evitare il proliferarsi di emissioni odorigene sgradevoli.

Attraverso la raccolta della frazione umida dei RU con il sistema “porta a porta” si riescono ad ottenere rese di intercettazioni consistenti e significative nonché una migliore qualità del materiale raccolto, così come si evince dalla

Tabella 14 in cui è riportata una sintesi comparativa dei sistemi di raccolta dello scarto umido.

La domiciliarizzazione del servizio ha reso possibile razionalizzare e ottimizzare il sistema di raccolta soprattutto grazie ad una migliore qualità del materiale raccolto (che implica minore tariffe di conferimento negli impianti); una maggiore intercettazione e dunque un rifiuto "secco" a basso contenuto di materiale fermentescibili, con possibilità di ridurre la frequenza di raccolta; l'assegnazione alle utenze di alcune funzioni operative maggiormente costose connesse al circuito della raccolta, quali la cura ed il lavaggio dei bidoni.

Tabella 14: Confronto dei vari sistemi di raccolta della frazione umida.

	Stradale	Di Prossimità	Domiciliare	Commerciale
Punto conferimento	Contentori	Bidoni	Bidoni o Mastelli	Bidoni e Contentori
Tipo di contenitori	1100-2400 lt.	240-360 lt.	25-120-240 lt.	
Frequenza	2-6 volte/sett.	2-4 volte/sett.	2-4 volte/sett.	Da 2 volte/sett. a Giornal.
Purezza merceologica	70-90%	88-95%	95-99%	85-95%
Rendimenti	20-40 kg/ab*anno	30-50 kg/ab*anno	50-100 kg/ab*anno	Variabile
Scarto di giardino (%)	40-70 % (stagionale)	10-30% (stagionale)	Da 0% (se vietato il conferimento al 10%(max, per i volumi limitati a disposizione)	

La direttiva 93/31/CE prevede obiettivi di riduzione significativi delle quantità di scarto organico da conferire in discarica (riduzione del 50% entro il 2009 e del 65% entro il 2016) ai fini di una migliore tutela ambientale. In quest'ottica risulta rilevante e decisivo il contributo che le RD dello scarto umido e di quelli a matrice cellulosa possono dare per il raggiungimento di tali obiettivi (vedi Tabella 15).

L'analisi merceologica del RU tal quale (in assenza della raccolta differenziata dello scarto umido) può presentare circa il 60% in peso di scarto organico, essendo in presenza di un sistema di RD tradizionale con una moderata raccolta delle frazioni secche riciclabili. In presenza di circuiti di raccolta "porta a porta" di alcune frazioni strategiche (principalmente scarto da cucina, carta e cartoni) l'analisi merceologica evidenzia una riduzione della sostanza organica presente nel RU residuo.

Tabella 15: Ruolo della RD sul rifiuto organico.

Rifiuto	RU tal quale	RU residuo	RU tal quale	RD 50%	RU residuo
Componenti	Analisi merc. (%)	Analisi merc. (%)	1t contiene(kg)		
Sottovaglio (<20mm)	10,39	3,84	104		19
Scarto di cucina	29,65	5,73	296		29
Scarto verde	23,46	33,83	235		169
Carta e Cartoni	2,48	1,11	25		6
Totale	63,90	43,74	660		219

Fonte: le analisi merceologiche si riferiscono ai Comuni Est di Milano; si assume che l'80% del sottovaglio sia organico

6.1.3 La Gestione e l'organizzazione dei sistemi di raccolta dell'umido

La tecnologia di trattamento attualmente più implementata in Italia è quella del compostaggio. Alla fine del ciclo dagli impianti esce un prodotto che se di qualità (standard normativi e del CIC) viene usato come ammendante, altrimenti trova applicazione come elemento di ricopertura in discarica, al posto di terreni vergini. Inoltre tali impianti, per la natura stessa del materiale trattato e delle reazioni di fermentazione che vengono provocate per eliminare l'elevata presenza di sostanze organiche, devono essere realizzati in aree sufficientemente distanti dai centri abitati, per evitare molestie alla popolazione.

Per quanto sopra delineato, risultano evidenti le difficoltà di attuare o incrementare un sistema di raccolta e trattamento della frazione organica. Infatti in numerose aree urbane si sceglie di effettuare una raccolta mirata alle utenze che producono quantitativi consistenti di rifiuti umidi e con una minor presenza di frazioni estranee, quali ad esempio i ristoranti, le mense, i mercati e gli ortomercati. In questo modo si riducono i costi di raccolta e si ha una maggiore garanzia di produrre uno scarto trasformabile in materiale idoneo all'utilizzo in agricoltura.

Appare importante l'entità della frazione organica raccolta in ambito urbano costituita dai rifiuti urbani biodegradabili da cucine e mense e dai rifiuti biodegradabili provenienti da parchi e giardini.

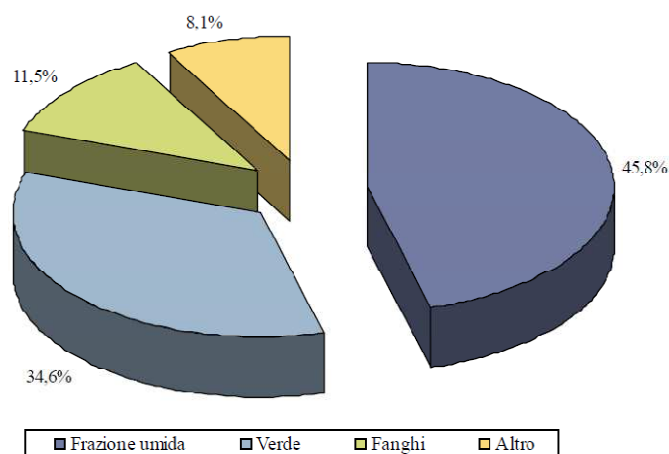


Figura 31: Le tipologie di rifiuti trattati in impianti di compostaggio, anno 2010
(Fonte ISPRA, Rapporto rifiuti, 2012)

La frazione organica dei rifiuti urbani da raccolta differenziata costituisce l'80,4% dei rifiuti complessivamente gestiti a livello nazionale. Il 68% di questa tipologia di rifiuti (circa 2,3 milioni di tonnellate) viene trattato nel Nord, il 18% (607 mila tonnellate) al Centro ed il 14% al Sud (circa 470 mila tonnellate). Le altre tipologie di rifiuti avviati a compostaggio, costituite, principalmente, da fanghi e rifiuti provenienti dal comparto agroalimentare, ammontano, complessivamente, a 815.340 tonnellate, pari al 19,6% del totale dei rifiuti trattati.

La Figura 31 mostra le diverse tipologie di rifiuti trattati: frazione umida (45,8%), verde (34,6%), fanghi (11,5%) e altri rifiuti dell'agroindustria (8,1%).

L'obiettivo di ottimizzare l'intercettazione della frazione organica, nell'ottica di un servizio integrato di raccolta dei rifiuti urbani, passa soprattutto attraverso una corretta operazione di scelta e quantificazione dei contenitori necessari.

La premessa metodologica sembra marginale nei sistemi aggiuntivi, ma risulta fondamentale nel momento in cui ci si accinge ad introdurre questo nuovo sistema di raccolta.

Un principio da rispettare infatti è quello di predisporre, più che in altre raccolte, un servizio "di qualità", nei confronti degli utenti serviti. A fronte dello sforzo supplementare che viene richiesto all'utente nella gestione della parte "putrescibile" dei propri rifiuti (separare in casa i propri rifiuti "umidi", conservarli presso la propria abitazione per un certo periodo di tempo e infine trasportarli al luogo di conferimento), occorrerà fornire una serie di garanzie di diverso tipo:

- immateriali (*conservazione dell'ambiente e delle risorse, ecocompatibilità nello smaltimento dei rifiuti*),
- materiali (*rappresentati in parte dalla eventuali riduzioni degli oneri economici, TARSU o Tariffa*),

ma soprattutto migliorare la qualità del servizio, costruito sui bisogni impliciti ed espliciti dell'utente medesimo. Sia la logica che sta dietro un sistema di Raccolta Differenziata o, meglio, di frazione organica da Raccolta Differenziata, sia la tendenza a fornire garanzie così come sopra riportato, hanno portato alla diffusione di servizi che si avvicinano il più possibile all'utente; da qui lo sviluppo di sistemi con frequenze di raccolta "comode" ovvero sistemi che privilegiano la domiciliarizzazione - o quanto meno - che privilegino il "principio di prossimità".

Contenitori collocati nelle abitazioni o il più possibile vicini alle abitazioni o presso le utenze non domestiche e commerciali, di misura e capacità idonea a contenere i quantitativi prodotti, svuotati con sollecitudine o ogni qualvolta ne scaturisce la necessità di svuotamento, sono alcuni degli elementi che il gestore del servizio deve mettere a disposizione per garantire la buona riuscita della raccolta differenziata dello scarto organico.

6.2 Materiali e metodologia adottati

Lo schema di raccolta della frazione organica dei rifiuti prevede, normalmente, turni di raccolta giornalieri o bi-giornalieri. La frequenza di raccolta incide enormemente sui costi del personale oltre che sulle spese per la gestione della raccolta (carburante, costo di manutenzione dei mezzi, etc.). Oltre alla modesta quantità, anche la qualità che si ottiene, pur in applicazione del sistema raccolta porta a porta che non sempre garantisce possibilità di verifica puntuale, non risulta spesso compatibile con la necessità di ottenere un compost di qualità, l'unico che possa trovare reale collocazione sul mercato.

Le esigenze del gestore sono quindi quelle di snellire gli oneri legati alla raccolta del RUB, rarefacendo la frequenza di raccolta senza comportare un aggravio di disagio all'utenza e di disporre di un sistema di controllo che garantisca la necessaria qualità a tale frazione.

Il presente lavoro di tesi, nell'ottica di un'ottimizzazione del servizio di raccolta dei rifiuti nei centri urbani, ha sviluppato una metodologia che potesse permettere il potenziamento e il miglioramento della raccolta della frazione umida dei rifiuti. In particolare sono stati previsti due scenari di lavoro in un grosso centro abitato della regione Sicilia, prendendo in considerazione i rifiuti organici prodotti da utenze non domestiche o commerciali (mense, negozi di ortofrutta, bar, ristoranti etc...), assimilabili a quelle domestiche (le utenze familiari), che in termini qualitativi producono un rifiuto puro, difficilmente contaminato da frazioni estranee che renderebbero lo stesso poco utilizzabile ai fini della produzione di compost di qualità.

L'applicazione del modello ha avuto come obiettivo quello di risolvere un classico *Vehicle Routing Problem with Time Window* (VRPTW), al fine di servire le utenze commerciali che producono notevoli quantità di rifiuti organici, con il vincolo legato agli orari di apertura e chiusura che influenza considerevolmente il servizio di raccolta.

6.2.1 Attrezzature utilizzate per la raccolta della frazione organica dei rifiuti

Nella pratica attuale per la raccolta dei RUB è diffuso l'utilizzo di contenitori con all'interno sacchetti di mater-bi che vengono ritirati generalmente ogni uno o due giorni e conferiti all'impianto di compostaggio. Il sacco interno deve riuscire a contenere un rifiuto "pesante" (alto peso specifico), "odorigeno" (alta putrescibilità) e in parte "liquido" (elevato tasso di umidità). I sacchetti in materiale biodegradabile attualmente in commercio non si rilevano adatti a contenere il rifiuto prodotto su più giorni ed, a causa del peso e del liquido che deriva dal rifiuto stesso presentano spesso lacerazioni (Figura 32) che ne complicano enormemente la gestione, oltre a produrre problemi di maleodorazione, costringendo l'azienda addetta all'espletamento del servizio ad elevate frequenze di raccolta.



Figura 32: Rottura meccanica e degradativa in carta e materiale biodegradabile

Per questa ragione un bidone aerato è stato specificamente progettato per prevenire condizioni anaerobiche, riducendo la frequenza di raccolta, con evidenti benefici in termini di riduzione dei costi e di ottimizzazione della gestione dei restanti frazioni di RSU. Una breve campagna sperimentale è stata realizzata per testare un prototipo di contenitore aerato (Figura 34), consegnato a 10 famiglie per un periodo di 3 settimane.

Una capillare distribuzione di contenitori adatti a contenere l'organico prodotto dalle utenze domestiche e non domestiche, per un'intera settimana senza conseguenze negative per l'utenza, avrebbe notevoli vantaggi.

A fronte di costi di produzione e commercializzazione contenuti, resi possibili dal tipo di raccolta settimanale, si può prevedere una sicura sensibilizzazione della popolazione che troverebbe pratici e sensibili vantaggi nel dotarsi di questo sistema. Tra i vantaggi più rilevanti ricordiamo:

- Riduzione ed eliminazione delle manifestazioni odorigine causate dalla naturale fermentescibilità della tipologia di rifiuto trattato;
- Riduzione dei costi di raccolta, dovuti: ad una minore frequenza dei mezzi, ad una riduzione del numero dei mezzi, alla riduzione delle azioni di pulizia poiché il rifiuto stoccato risulta più gestibile dal punto dell'attività biologica;

- Riduzione della Tassa/ Tariffa come conseguenza diretta dell'abbassamento dei costi legati alla raccolta;
- Materiale selezionato e dunque dotato di un alto grado di purezza, dotato di caratteristiche idonee per essere avviato ai trattamenti previsti per il rifiuto organico (compostaggio, digestione anaerobica);



Figura 33: Rifiuto urbano biodegradabile di alta qualità.

- Migliore gestione dell'indifferenziato e delle altre frazioni della raccolta differenziata.



Figura 34: Prototipo del contenitore per la raccolta dell'umido domestico

6.2.2 Definizione del costo unitario di trasporto

Definire il costo unitario di trasporto è un lavoro non semplice poiché le variabili in gioco sono molte e a volte non quantificabili in termini monetari. Nel presente studio

il costo sarà dato da un insieme di fattori legati sia al percorso effettuato sia al personale e ai mezzi adibiti alla raccolta.

I fattori che sono stati scelti per definire l'attribuzione del costo del trasporto del rifiuto sono stati: la distanza, il personale chiamato a compiere il servizio, il costo del carburante, i costi di manutenzione, i costi fissi legati a tasse di proprietà e assicurazioni, nonché l'ammortamento del mezzo. Sono stati considerati fattori puramente legati ai trasporti e sono stati trascurati invece costi esterni, cioè sostenuti dalla collettività, pur essendo decisivi, poiché difficili da interpretare numericamente. La somma di questi fattori ha fornito il costo espresso in euro su tonnellata.

Di seguito è riportata l'espressione che è stata utilizzata per definire il costo unitario per il personale adibito alla raccolta:

Costo dovuto al personale:

$$C_{pers} [\text{€}/t] = \frac{c_p \cdot S_j}{V_m \cdot K_{ve}}$$

dove:

- c_p = costo orario del personale a bordo dei mezzi pari a 22,04 €/h
- S_j = distanza della generica tratta misurata in km
- V_m = velocità media di percorrenza pari a 20 km/h
- K_{ve} = capacità del veicolo pari a 4 tonnellate

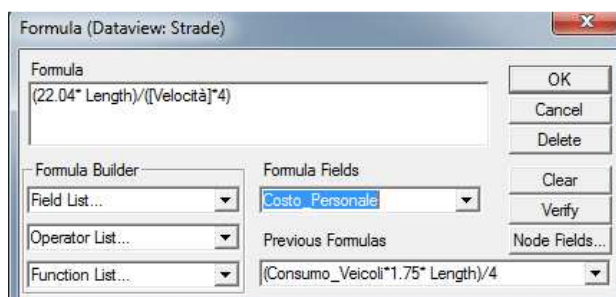


Figura 35: Calcolo del costo dovuto al personale

Il servizio, fornito alle utenze commerciali (ristoranti, negozi e mercati ortofrutticoli, fiorai etc...) dotate di bidoni carrellati di volumetria compresa tra i 120 lt e i 360 lt ed effettuato con una frequenza standard di tre volte a settimana, è eseguito da un autocompattatore con capacità di carico di 3,6 tonnellate, i cui costi sono riportati in Tabella 16 .

Tabella 16: Costo per ton-km di un mini compattatore a due assi

Reference	Units	Quantity
Average amounts carried	tons	3.6
Truck capacity	m ³	12
New truck cost	€	74,886.25
Average annual distance	km	20,000
Fuel cost (Diesel)	€/l	1.78
Fuel consumption	l/km	0.330
Lube oil consumption	Kg/km.	0.003
Lube oil cost	€/km	4.65
Number of tires for each set	num.	6
Duration of the tyres set	km	30,000
Unit cost of each tyre	€	309.87
Rate of interest	%	0.045
Period of amortization	years	7
Amortization coefficient	K	0.17
Property tax	€	105.36
Truck insurance	€	1,172.36
Truck maintenance and washing	%	0.10
Total cost for kilometers	€	0.88
Total operating cost	€/y	17,676.73
Annual amortization rate	€/y	12,708.31
Total Annual Cost	€/y	30,385.03
Total Cost per ton-km	€/(ton-km)	0.422



Waste truck - IVECO 120 C 13

6.2.3 Architettura della metodologia ipotizzata

In relazione ai bisogni e alle motivazioni evidenziate finora, l'architettura della piattaforma telematica del sistema di raccolta ottimizzata "on demand" della frazione organica dei rifiuti per le utenze commerciali (estendibile ed applicabile ugualmente alle utenze familiari) permette l'interazione in tempo reale tra l'utente servito e l'azienda che svolge il servizio di raccolta.

A seguito di un'analisi territoriale dettagliata che permetta l'individuazione delle utenze da servire e dotare di contenitore aerato per la raccolta del rifiuto organico, viene creato un Sistema Informativo Territoriale all'interno del quale sono inserite tutte le informazioni utili per il monitoraggio dei contenitori:

- tipologia di utenza;
- orario di apertura e di chiusura dell'utenza;
- quantità di contenitori forniti;
- volumetria dei contenitori;
- quantitativo giornaliero prodotto;
- frequenza di raccolta standard.

ID	Longitude	Latitude	VIA	N_CIV_	TIPOLOGIA	[Quantità]
2	15057012	37533306	VIA GAL 185	185	SUPERMERCATO	3
3	15061609	37529194	VIA GAL191	191	RISTORANTE	2
4	15056230	37538754	VIA GAL1298/C		SUPERMERCATO	3
5	15056170	37538991	VIA GAL1310/A		ORTOFRUTTA	1
6	15053433	37544032	VIA S. G 6/A		ORTOFRUTTA	1
7	15050373	37551361	VIA CAL12		ORTOFRUTTA	1
8	15064605	37534476	VIALE T133		SCUOLA	2
9	15050361	37517643	VIA AMA1		ORTOFRUTTA	1
10	15079748	37533698	VIA DEL 107		ORTOFRUTTA	1
11	15079370	37535349	VIA DEL 154		ORTOFRUTTA	1
12	15079180	37535631	VIA DEL 163		ORTOFRUTTA	1
13	15078086	37537287	VIA DEL 240/F		ORTOFRUTTA	1
14	15076094	37538656	VIA DEL 313		ORTOFRUTTA	1
15	15082389	37538234	VIA NOV141		ORTOFRUTTA	1
16	15088181	37536891	VIA PIET207		ORTOFRUTTA	1
17	15087587	37534692	VIA PIET206		RISTORANTE	2
18	15086650	37531861	VIA PIET96		ORTOFRUTTA	1
19	15091891	37532548	VIA DEL110		ORTOFRUTTA	1
20	15082762	37535145	VIA LEU193		ORTOFRUTTA	1
21	15083038	37535221	VIA BAR ANG. LEUCAS		SUPERMERCATO	3
22	15083290	37519152	VIA ETN 732		SCUOLA	2
23	15086041	37524920	VIA TORVULCANIA		SUPERMERCATO	3
24	15091908	37518412	C.SO DE 191		SUPERMERCATO	3
25	15108140	37527800	VIA DE C52		SUPERMERCATO	3
26	15108997	37522322	VIA MES 396		SCUOLA	2
27	15115186	37521677	VIALE RI91		BAR	1
28	15114869	37522001	VIALE RI		SUPERMERCATO	3
29	15114909	37533115	VIA MES 626		ALBERGO	2
30	15117107	37534600	VIA MES 649		SUPERMERCATO	3

Figura 36: Informazioni relative alle utenze commerciali da servire

Le caratteristiche di putrescibilità del rifiuto organico, descritte nei paragrafi precedenti, determinano una non prevedibilità della frequenza di raccolta (domanda di servizio). In funzione delle caratteristiche del rifiuto prodotto dall'utenza specifica, la

necessità di svuotamento del contenitore può essere richiesta a causa di svariati fattori. Essa potrebbe, infatti, essere dovuta alla tipologia di rifiuto organico conferito in giornata, a seguito del consumo non previsto di una tipologia di rifiuto particolarmente putrescibile e maleodorante (es: consumo notevole di pesce in un ristorante), all'eccessiva produzione di rifiuto dovuta alla consegna di un fornitore che determina un riempimento anticipato del contenitore rispetto alle condizioni normali, ad una elevata produzione di liquido percolato prodotto dal rifiuto posto all'interno del contenitore o ad una cattiva manutenzione del contenitore che ne causa un malfunzionamento, generando una fastidiosa presenza di insetti e/o cattivi odori.

La strutturazione di una centrale operativa dotata di unità di elaborazione dei dati inviati attraverso dispositivi di comunicazione telematica, e da inputare all'interno del modello di risoluzione del VRPTW, consente, utilizzando anche applicazioni di infomobilità appositamente sviluppate per un servizio di raccolta *on demand* degli RSU, di ottimizzare la gestione della raccolta, garantendo una notevole riduzione dei costi per le aziende.

Nello schema riportato in Figura 37 è rappresentato l'architettura della metodologia ipotizzata al fine di ottimizzare la raccolta dei rifiuti organici in ambito urbano, fornendo un servizio flessibile ad una domanda flessibile.



Figura 37: Schema di architettura della piattaforma telematica di acquisizione, gestione ed elaborazione dati

6.3 Risultati

I dati ottenuti dalla sperimentazione con i prototipi dei contenitori aerati sono stati elaborati in modo tale da ricavare le produzioni settimanali di rifiuti organici e liquido percolato.

Tabella 17: Produzioni medie settimanali di rifiuto organico e liquido percolato per ogni famiglia

	Fam 1	Fam 2	Fam 3	Fam 4	Fam 5	Fam 6	Fam 7	Fam 8	Fam 9	Fam 10
Components family (n°)	5	3	4	3	5	4	4	1	1	3
OF produced (kg)	4,50	2,39	4,95	2,17	4,40	4,75	2,85	3,90	0,85	2,90
Leachate produced (kg)	0,13	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00

Dal monitoraggio dei contenitori aerati utilizzati durante le settimane di sperimentazione, le percentuali delle diverse tipologie di rifiuto trovate al loro interno sono riportate nel seguente diagramma a torta:

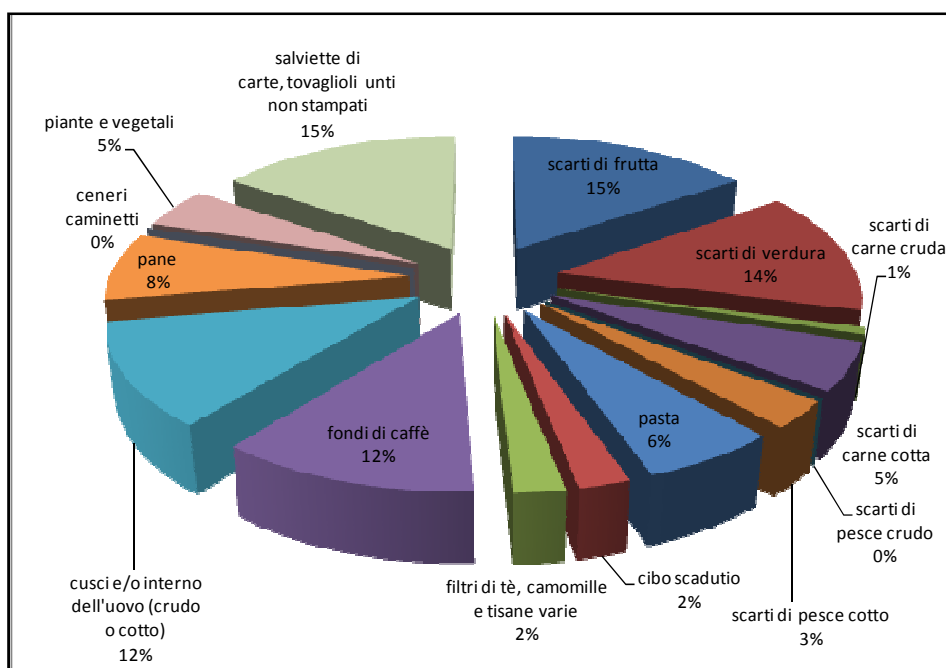


Figura 38: Percentuale di conferimento delle singole frazioni merceologiche rispetto alle altre

Analizzando inoltre i dati forniti dalle utenze monitorate si è potuto constatare che le diverse frazioni merceologiche sono state conferite come segue:

Tabella 18: *Percentuale di conferimento delle frazioni merceologiche sul totale degli utenti monitorati*

Scarti di frutta	100%
Scarti di verdura	90%
Scarti della carne cruda	5%
Scarti della carne cotta	35%
Scarti di pesce crudo	0%
Scarti di pesce cotto	20%
Scarti di pasta	40%
Scarti di cibo scaduto	15%
Filtri di tè, camomilla e tisane	15%
Fondi di caffè	75%
Gusci di uovo	75%
Scarti di pane	50
Ceneri di caminetti	0%
Piante e vegetali	30%
Salviette di carta unte e tovaglioli non stampati	100%

Le percentuali di rifiuto organico maggiormente presente sono quindi gli scarti di frutta e di verdura, i fondi di caffè, i gusci di uovo e le salviette di carta e tovaglioli non stampati.

La produzione di percolato è stata piuttosto contenuta, salvo due casi in cui si è registrata la presenza di una quantità pari a 20 cl di percolato per una produzione settimanale di circa 7 kg/ab*giorno; negli altri casi la presenza del percolato è stata ritenuta completamente trascurabile (Figura 39).



Figura 39: Rifiuto organico e percolato raccolto durante la campagna di sperimentazione



Dai risultati della sperimentazione, analizzando tutti i dati ottenuti, si è ritenuto che fino a un periodo di 5/6 giorni si ha una pressoché totale assenza di problemi; superato questo periodo possono manifestarsi problemi legati alla presenza di insetti e cattivi odori. Si ritiene pertanto che utilizzando opportuni materiali (materiali isolanti, zanzariere molto sottili etc.) si può ridurre la frequenza di raccolta, arrivando tranquillamente al quinto giorno con una presenza di effetti negativi minimi e completamente compensati dai vantaggi ottenuti da questo tipo di raccolta. Nel caso in cui un utente dovrebbe riscontrare alcune criticità non tollerabili può comunicare, anche attraverso un semplice SMS gratuito, la necessità di svuotamento o pulizia del contenitore. Acquisite le informazioni, la Centrale Operativa metterà a punto un nuovo percorso di raccolta, tra cui il bidone dell'utente che ha inviato la richiesta, fornendo in questo modo una rapida risposta alle esigenze del cliente.

Scenari ipotizzati

Per il presente lavoro di tesi si è, pertanto, ipotizzato di distribuire alle utenze commerciali quali ristoranti, negozi e mercati ortofrutticoli, fiorai, mense, contenitori aerati con le stesse caratteristiche del prototipo sopra descritto. La volumetria dei bidoni è stata considerata variabile tra 120, 240 e 360 litri, in funzione delle caratteristiche dell'utenza da servire e di conseguenza delle produzioni di rifiuto.

Sulla base dei risultati ottenuti dalla sperimentazione, sono stati ipotizzati due scenari di raccolta, uno con frequenza di raccolta 12 volte al mese e uno con una frequenza di 6 volte al mese

Tabella 19: Scenari ipotizzati per la raccolta del rifiuto organico presso le utenze commerciali

	Tipologia contenitore	Frequenza di raccolta
SCENARIO 1	 Contenitore standard	12 volte al mese
SCENARIO 2	 Prototipo contenitore aerato	6 volte al mese

Nella mappa in Figura 40 sono riportati i punti della rete corrispondenti alle utenze distribuite sul territorio da servire, mentre la Figura 41 rappresenta le fasi di caricamento dei dati all'interno del modello tramite il software TransCad; in particolare sono state inserite tutte le informazioni relative al deposito mezzi, al numero e alla tipologia di contenitori in dotazione alle utenze oggetto dello studio, ai tempi necessari per l'accesso ai punti di raccolta e per il caricamento/svuotamento dei contenitori, agli orari di apertura e chiusura delle utenze, e alle caratteristiche dei mezzi in termini di capacità di servizio e costi.

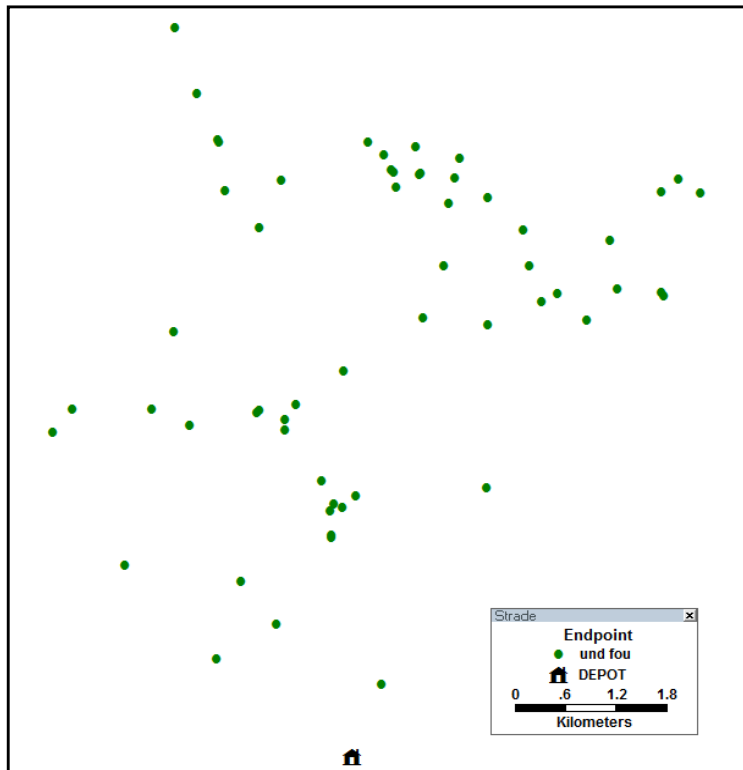


Figura 40: Punti della rete corrispondenti alle utenze da servire

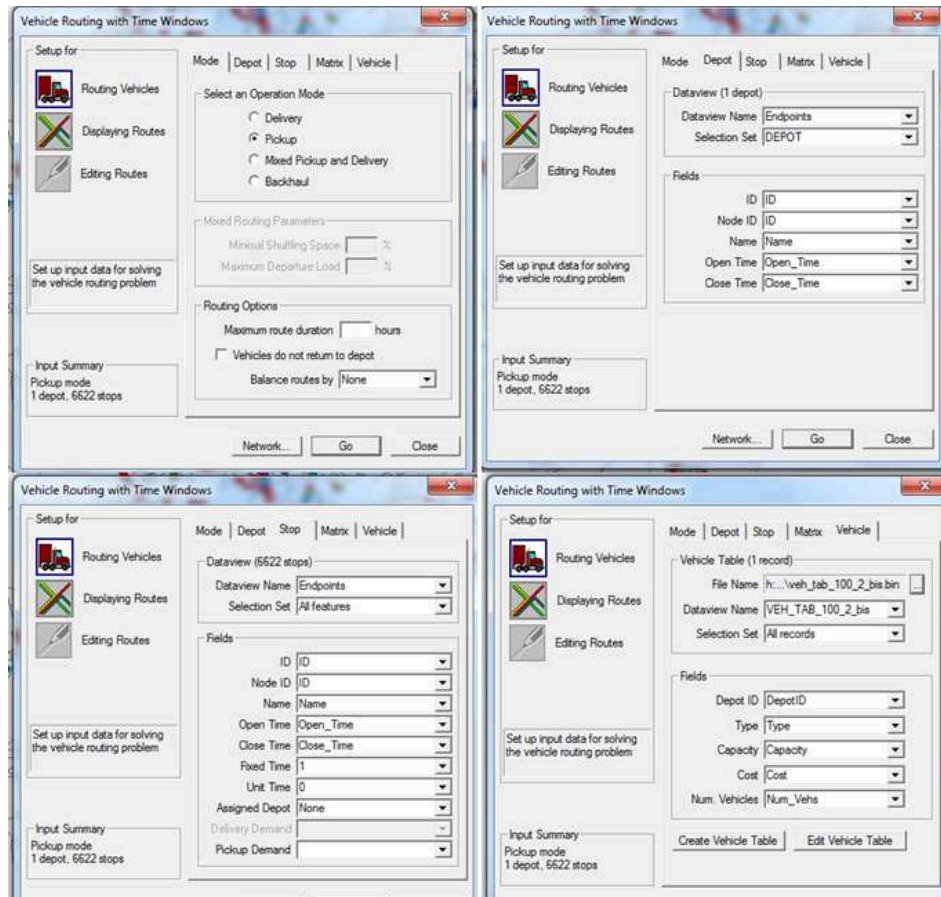


Figura 41: Screen shots relativi alle fasi di caricamento dei dati all'interno del modello

Il modello di risoluzione del VRPTW ha permesso di ottenere i percorsi di raccolta ottimizzati per i due scenari ipotizzati (Figura 42 e Figura 43); la mappa del secondo scenario mostra chiaramente i punti di raccolta non serviti in quanto le utenze corrispondenti non hanno richiesto, tramite ICT, l'esecuzione del servizio grazie alle proprietà del contenitore aerato.

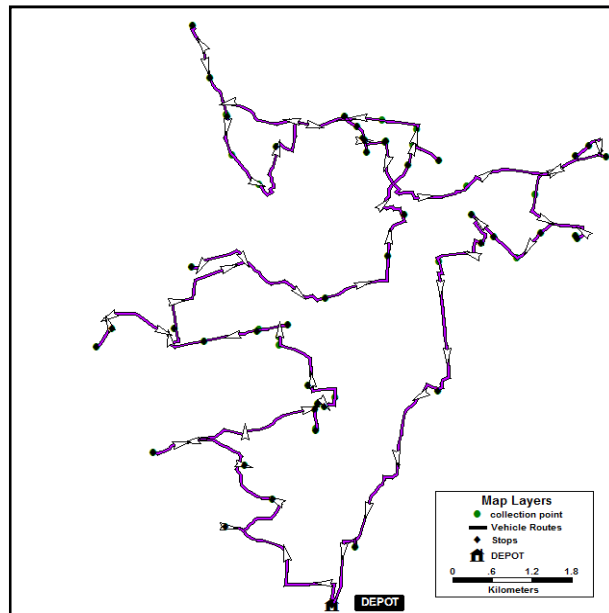


Figura 42: Percorso di raccolta ottimizzato relativo allo scenario 1 con frequenza standard

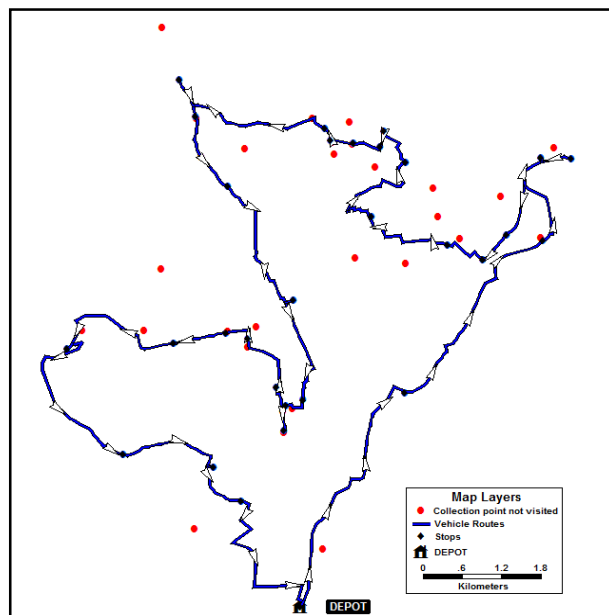


Figura 43: Percorso di raccolta ottimizzato per lo scenario 2 a frequenza ridotta

L'applicazione del modello tramite il software di risoluzione restituisce la sequenza e i dettagli delle utenze visitate dai mezzi di raccolta, nonché gli orari di arrivo, il tempo necessario per il caricamento/svuotamento dei contenitori per ogni punto di raccolta, l'orario di ripartenza verso il successivo cliente da servire, la distanza parziale e totale percorsa e il numero di contenitori serviti.

Tabella 20: Informazioni relative ai percorsi di raccolta restituite dal modello

Longitude	Latitude	STOP_ID/Name	Sequence	Arrival	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Pickup	[Tot. Load]
15073972	37470367	1 DEPOT	0	--	--	600	--	--	0.00	--	0.00
15091696	37500295	2 ORTOFRUTTA	1	613	4.5	617	12.8	4.27	4.27	2.000	2.00
15115186	37521677	3 BAR	2	628	4.5	632	10.6	3.53	7.80	2.000	4.00
15120070	37533010	4 SCUOLA	3	639	8.5	648	6.7	2.24	10.04	4.000	8.00
15114909	37533115	5 ALBERGO	4	649	8.5	658	1.7	0.98	10.62	4.000	12.00
15108997	37523222	6 SCUOLA	5	702	8.5	711	4.4	1.45	12.07	4.000	16.00
15105043	37518923	7 ORTOFRUTTA	6	712	4.5	717	1.6	0.54	12.61	2.000	18.00
15099003	37520992	8 SUPERMERCATO	7	719	8.5	728	2.3	0.77	13.38	4.000	22.00
15086041	37524920	9 SUPERMERCATO	8	732	8.5	741	4.8	1.60	14.98	4.000	26.00
15091891	37532548	10 ORTOFRUTTA	9	748	4.5	752	6.7	2.23	17.21	2.000	28.00
15088181	37536891	11 ORTOFRUTTA	10	754	4.5	759	2.1	0.70	17.91	2.000	30.00
15087587	37534692	12 RISTORANTE	11	800	8.5	808	0.8	0.26	18.17	4.000	34.00
15083038	37535221	13 SUPERMERCATO	12	809	8.5	818	1.4	0.47	18.64	4.000	38.00
15079180	37535631	14 ORTOFRUTTA	13	819	4.5	824	1.2	0.40	19.03	2.000	40.00
15078086	37537287	15 ORTOFRUTTA	14	824	4.5	829	0.7	0.23	19.26	2.000	42.00
15053433	37544032	16 ORTOFRUTTA	15	837	4.5	841	8.2	2.73	21.99	2.000	44.00
15056170	37538991	17 ORTOFRUTTA	16	843	4.5	848	1.9	0.64	22.63	2.000	46.00
15061609	37529194	18 RISTORANTE	17	852	8.5	860	3.9	1.29	23.92	4.000	50.00
15072864	37513251	19 ORTOFRUTTA	18	908	4.5	912	7.4	2.46	26.38	2.000	52.00
15074475	37498330	20 ORTOFRUTTA	19	919	4.5	922	5.9	1.92	28.30	2.000	54.00
15071515	37498522	21 FIORAIO	20	924	4.5	928	1.2	0.41	28.72	2.000	56.00
15071127	37495070	22 FIORAIO	21	930	4.5	934	1.4	0.47	29.18	2.000	58.00
15069863	37501113	23 ORTOFRUTTA	22	936	4.5	941	2.2	0.74	29.93	2.000	60.00

I risultati ottenuti in termini di tempi e percorsi di raccolta e soprattutto in termini di costo sono riportati nella Tabella 21 e nei successivi istogrammi, e mostrano come la metodologia proposta rappresenta un utile strumento per aiutare la pianificazione tattica nella raccolta dei rifiuti, beneficiando delle informazioni in tempo reale fornite dagli utenti attraverso sistemi di ICT.

Tabella 21: Confronto tra tempi, distanze e costi di raccolta per i due scenari ipotizzati

Frequency 12 times/month	Frequency 6 times/month
Total Time : 6:15 (374.9 min.)	Total Time : 5:01 (301.2 min.)
Total Travel Time : 2:58 (177.9 min.)	Total Travel Time : 2:11 (130.7 min.)
Total Service Time : 3:17 (197.0 min.)	Total Service Time : 2:51 (170.5 min.)
Total Distance : 59.3 km	Total Distance : 43.6 km
Total monthly Distance: 711.6 km	Total monthly Distance: 261.6 km
Total monthly Cost: 300.30 €/t	Total monthly Cost: 110.40 €/t

Il processo di ottimizzazione dei percorsi può produrre una riduzione dei costi fino al 37% del costo dovuto in caso di raccolta con contenitori e frequenze standard.

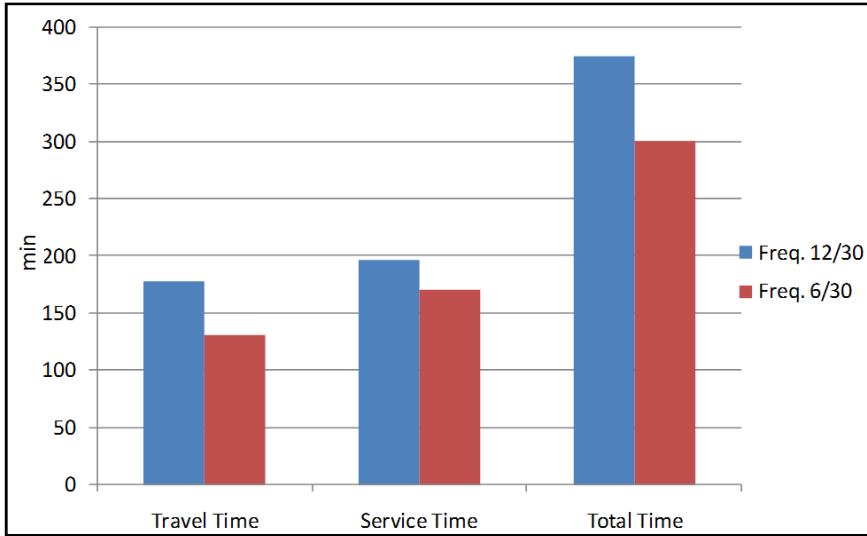


Figura 44: Confronto tra i tempi di raccolta nei due scenari

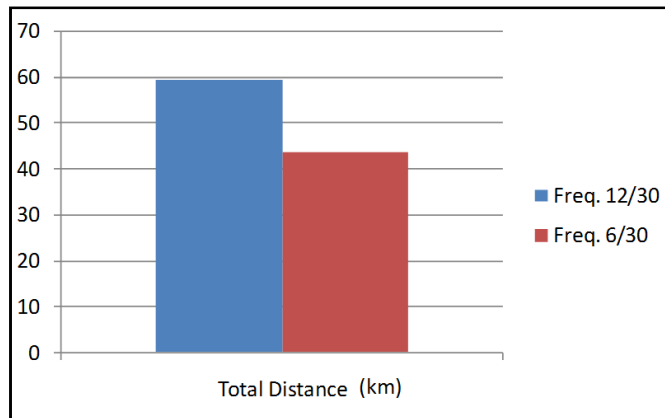


Figura 45: Confronto tra le distanze percorse nei due scenari

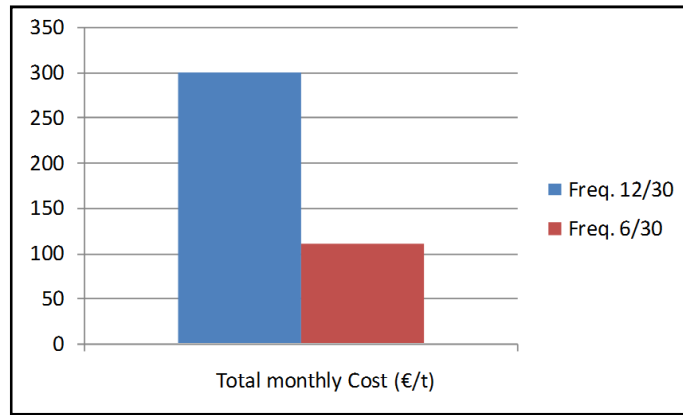


Figura 46: Confronto tra i costi di raccolta nei due scenari

7 UN MODELLO DI OTTIMIZZAZIONE DEI FLUSSI DI TRASPORTO DEI RIFIUTI SU SCALA TERRITORIALE REGIONALE: IL CASO DELLA SICILIA

L'ottimizzazione dei sistemi di raccolta e trasporto dei rifiuti in ambito urbano deve essere necessariamente seguita ed integrata con una corretta pianificazione del flusso dei rifiuti dai centri di produzione (centri urbani) agli impianti di destinazione finale.

La progettazione e la pianificazione di un sistema di gestione dei rifiuti su scala territoriale regionale comporta, infatti, la localizzazione ottimale degli impianti di trattamento e smaltimento, la distribuzione migliore dei flussi di rifiuti raccolti in modo differenziato dai centri di produzione agli impianti finali e la scelta dei percorsi, all'interno della rete stradale, che minimizzino il costo di trasporto.

La localizzazione degli impianti è spesso frutto di decisioni che dipendono da molti fattori, che non tengono sempre in considerazione l'incidenza del trasporto dei rifiuti per lunghe tratte stradali. In questo lavoro si è voluto seguire proprio questo approccio, analizzando e studiando l'incidenza dei trasporti, aventi sicuramente forti riflessi in termini di impatto ambientale. Il trasporto è, infatti, una componente fondamentale in un sistema efficace di gestione dei rifiuti solidi urbani e la sua ottimizzazione può ampiamente contribuire alla sostenibilità sociale, economica e ambientale.

Nell'ultimo decennio, i governi che si sono susseguiti sia a livello locale che nazionale, hanno emanato molte leggi per affrontare le politiche di gestione dei rifiuti, ma la complessità e le problematiche coinvolte, fanno sì che le amministrazioni che gestiscono il sistema dei rifiuti debbano beneficiare ampiamente di strumenti di supporto analitico e di simulazione per prendere le loro decisioni.

Molti ricercatori hanno cercato di determinare la tipologia, la localizzazione e le dimensioni degli impianti di trattamento e smaltimento dei rifiuti, così come i percorsi di trasporto ottimizzati dai centri di produzione agli impianti di destinazione finale utilizzando modelli matematici. Chang N.B. e Lin Y.T. (1997) hanno condotto uno studio sulla riorganizzazione del piano di gestione dei rifiuti per l'area metropolitana di Taipei. Lo scopo dello studio è stato quello di sviluppare uno strumento di analisi con lo scopo di aiutare il gestore a prendere scelte appropriate nella gestione dei rifiuti su larga scala. Kagawa et al (2007), ha evidenziato il rapporto tra la produzione di rifiuti e la capacità di trattamento all'interno della zona stessa di produzione in una vasta area del Giappone.

In relazione all'elevato utilizzo del suolo per la realizzazione di discariche per rifiuti solidi urbani, Leao S. et al. (2004) ha presentato un modello in grado di valutare la necessità di discariche in una serie di scenari diversi, considerando tra l'altro diverse soluzioni di smaltimento dei rifiuti, modelli di crescita urbana e criteri di valutazione del territorio. La scarsità di terra per le discariche, un problema più volte evidenziato in letteratura (Leao S. et al , 2001), richiede ai pianificatori di trovare soluzioni per ridurre il volume dei rifiuti da smaltire in discarica. Per tale ragione devono essere attentamente valutati i flussi di materiali non riciclabili, per garantire le appropriate opzioni di recupero energetico, e la conseguente riduzione di volume (stimata in circa il 90 %), al

fine di ottenere un minore utilizzo della discarica come soluzione di smaltimento dei rifiuti.

A tal proposito, uno studio condotto da Alçada-Almeida et al. (2009) ha proposto un sistema interattivo di supporto alle decisioni (IDSS) basato sul sistema di informazione geografica (GIS) per aiutare i pianificatori a determinare la posizione e la capacità più appropriata degli impianti di incenerimento di materiali pericolosi.

In questo lavoro è stata sviluppata una metodologia finalizzata alla ottimizzazione della gestione dei rifiuti nella regione Sicilia, attraverso la migliore combinazione tra tipologia e ubicazione degli impianti di rifiuti (discariche, impianti di incenerimento, riciclaggio e/o impianto di compostaggio, impianto di cemento, gassificatori) e l'assegnazione ottimale dei flussi di rifiuti, nonché del "Combustibile Solido Secondario" (CSS), al fine di ridurre contemporaneamente i costi operativi e gli impatti ambientali del trasporto tramite una procedura di *Life Cycle Assessment* (LCA).

Il lavoro eseguito può rappresentare, quindi, uno strumento di supporto al processo decisionale, ossia come un mezzo attraverso il quale compiere delle scelte in relazione ai diversi sistemi di gestione dei rifiuti da adottare sul territorio, una volta fissati dei criteri di valutazione e di impatto in termini di incidenza sulla rete stradale e sull'ambiente in seguito alle diverse tecnologie e dalle diverse modalità di gestione prese in considerazione.

7.1 Ipotesi di gestione integrata dei rifiuti in Sicilia

L'intero lavoro è stato svolto attraverso un'accurata ricerca bibliografica, la quale ha permesso di:

- approfondire l'impiantistica attuale ;
- analizzare ed elaborare i dati raccolti;
- valutare gli aspetti sociali connessi al sistema di gestione;
- applicare i modelli.

L'attività effettuata ha consentito inoltre di ipotizzare degli scenari di gestione del trasporto dei rifiuti dai centri ove essi sono prodotti, ai vari impianti di trattamento e smaltimento esistenti o comunque in attesa di realizzazione sul territorio, con l'obiettivo di rappresentare i risultati ottenuti in termini di potenziali impatti ambientali.

È stata inizialmente effettuata un'ipotesi di bilancio globale, caratterizzando i flussi in funzione delle assunzioni qui sotto riportate, e la regione, è stata così suddivisa:

- A. Grandi Centri, costituiti dalle principali città (Palermo, Catania, Messina, Siracusa), totale abitanti 1.315.000;
- B. Medi e Piccoli Centri, totale abitanti 3.736.000.

I Rifiuti Solidi Urbani (RSU) prodotti nella Regione, che ad oggi ammontano a circa 2,6 milioni di t/a, sono stati ripartiti, in prima approssimazione, sulla base di un parametro medio, per i Grandi Centri e per i Medi e Piccoli Centri, pari a 520 kg/ab.anno (paragonabile al valore medio nazionale ed in considerazione di un potenziale incremento, superato il periodo di crisi economica) ottenendo così i seguenti valori di produzione rifiuti:

- Grandi Centri 710.250 t/a;
- Medi e Piccoli Centri 2.017.320 t/a

Sono state considerate le diverse composizioni merceologiche dei rifiuti provenienti dai 26 luoghi di produzione presi di riferimento (centroidi) e in particolare sono stati elaborati i due bilanci, riportati nelle seguenti Tabella 23 e Tabella 24, rispettivamente per i grandi e per i medi e piccoli centri abitati.

Tabella 22: *Elencazione dei centroidi con i corrispettivi dati associati.*

Nome centroide	Popolazione dell'area	RSU prodotti (t/a)
Sciacca	131.023	47.029
Agrigento	198.627	107.446
Licata	136.166	61.559
Caltanissetta	133.195	59.779
Gela	149.290	65.998
Giarre	121.753	67.535
Acireale	154.362	101.044
Biancavilla	337.593	163.235
Catania	336.222	258.591
Caltagirone	151.287	55.837
Enna	180.244	74.646
S.A. Militello	113.815	48.457
Milazzo	212.290	108.927
Messina	257.302	130.033
S.T. Riva	76.290	45.163
Partinico	122.453	83.615
Corleone	110.237	47.527
Palermo	680.650	429.231
Bagheria	176.333	92.032
T. Imerese	105.523	55.494
Gangi	42.353	12.115
Ragusa	302.860	159.988
Siracusa	302.174	170.511
Noto	99.631	49.260
Trapani	291.777	162.653
Mazzara V.	141.152	69.877
TOTALE	5.064.602	2.727.580

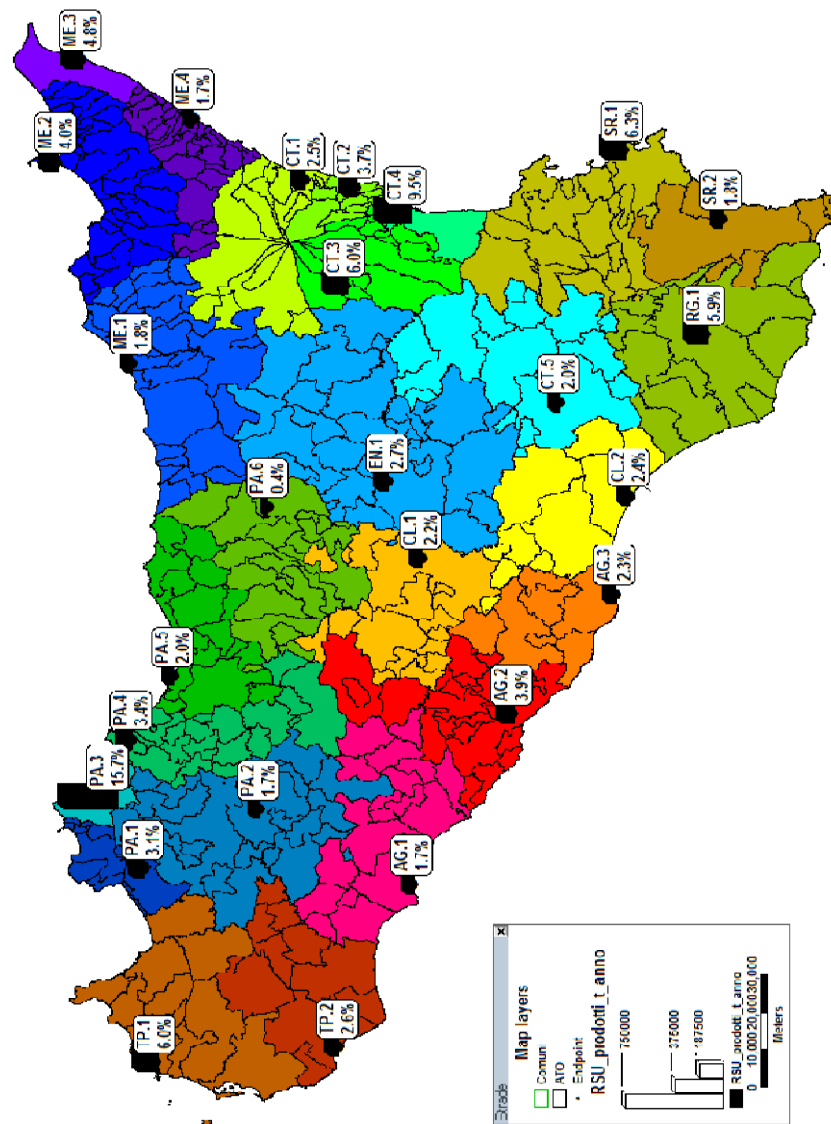


Figura 47: RSU prodotti dai centroidi presi in esame

Tabella 23: Bilancio rifiuti recuperati e in discarica-Piccoli e Medi centri

FRAZIONE MERCEOLOGICA	Range (%)	Valore ipotizzato (%)	Quantità (t/a)	Ipotesi recupero (%)	Ipotesi recupero da RD+TMB (t/a)	Rifiuti a CSS (t/a)	RUR⁽⁴⁾ (t/a)
Fraz. organica e verde	30-40	40	806.930	60	484.158 ⁽²⁾	0	322.772
<i>totale carta</i>	<i>17-23</i>	<i>18</i>	<i>363.119</i>				
Carta riciclabile	4,5	4,5	90.780	90 ⁽¹⁾	81.702	9.078	0
Cartone ondulato	4,5	4,5	90.780	90 ⁽¹⁾	81.702	9.078	0
Cartone teso	3	3	60.520	90 ⁽¹⁾	54.468	6.052	0
Altra carta	6	6	121.040	0	0	121.040	0
<i>totale plastica</i>	<i>13-17</i>	<i>14</i>	<i>282.426</i>				
Plastica film	4,5	4,5	90.780	90 ⁽¹⁾	81.702	9.078	0
Plastica riciclabile	4,5	4,5	90.780	90 ⁽¹⁾	81.702	9.078	0
Altra plastica	5	5	100.866	0	0	100.866	0
Poliaccoppiati	3	3	60.520	1	605	59.915	0
Vetro	07-set	7,5	151.299	60	90.780	0	60.520
Pannolini	05-giu	5	100.866	0	0	0	100.866
Tessili e legno	03-mag	4	80.693	50	40.347	20.173	20.173
Metalli ferrosi	2	2	40.347	95 ⁽¹⁾	38.329	0	2.017
Alluminio	0,5	0,5	10.087	95 ⁽¹⁾	9.582	0	504
		6					
Sottovaglio (< 20 mm)	6		121.040	0	0	0	121.040
Totale (t/a)			2.017.326		1.045.076	344.358⁽³⁾	627.893
Totale (%)			100%		52%	17%	31%

⁽¹⁾ Prevalentemente da RD ma comprensivo di recupero da TMB

⁽²⁾ A impianto di compostaggio

⁽³⁾ Tiene conto anche del contributo degli scarti degli altri processi di recupero (la quantità netta è invece pari a 309.922 t/a)

⁽⁴⁾ Rifiuti Urbani Residui (RUR)

FRAZIONE MERCEOLOGICA	Range (%)	Valore ipotizzato (%)	Quantità (t/a)	Ipotesi recupero (%)	Ipotesi recupero da RD+TMB (t/a)	Rifiuti a CSS (t/a)	RUR⁽⁴⁾ (t/a)
Fraz. organica e verde	30-40	34	241.487	10	24.149 ⁽²⁾	0	217.338
<i>totale carta</i>	<i>17-23</i>	<i>20</i>	<i>142.051</i>				
Carta riciclabile	5	5	35.513	60 ⁽¹⁾	21.308	14.205	0
Cartone ondulato	5	5	35.513	50 ⁽¹⁾	17.756	17.756	0
Cartone teso	3	3	21.308	50 ⁽¹⁾	10.654	10.654	0
Altra carta	7	7	49.718	0	0	49.718	0
<i>totale plastica</i>	<i>13-18</i>	<i>18</i>	<i>127.846</i>				
Plastica film	6	6	42.615	30 ⁽¹⁾	12.785	29.831	0
Plastica riciclabile	6	6	42.615	50 ⁽¹⁾	21.308	21.308	0
Altra plastica	6	6	42.615		0	42.615	0
Poliaccoppiati	3	3	21.308	1	213	21.095	0
Vetro	07-set	7,5	53.269	60	31.961	0	21.308
Pannolini	05-giu	5	35.513	0	0	0	35.513
Tessili e legno	03-mag	4	28.410	50	14.205	7.103	7.103
Metalli ferrosi	2	2	14.205	95 ⁽¹⁾	13.495	0	710
Alluminio	0,5	0,5	3.551	95 ⁽¹⁾	3.374	0	178
Sottovaglio (<20 mm)	6	6	42.615	0	0	0	42.615
Totale (t/a)			710.254		147.058	214.284⁽³⁾	348.912
Totale (%)			100%		21%	30%	49%

Tabella 24: Bilancio rifiuti recuperati e in discarica- Grandi centri.

⁽¹⁾ Prevalentemente da RD ma comprensivo di recupero da TMB

⁽²⁾ A impianto di compostaggio

⁽³⁾ Tiene conto anche del contributo degli scarti degli altri processi di recupero (la quantità netta è invece pari a 192.855 t/a)

⁽⁴⁾ Rifiuti Urbani Residui (RUR)

Si nota dalle tabelle sopra riportate che sono state ipotizzate percentuali di recupero diverse per le due tipologie di produzione di rifiuti presi di riferimento (grandi e medio – piccoli). Questa ipotesi è confermata dai dati nazionali sulla raccolta differenziata dei rifiuti (ISPRA, 2012) che indicano un valore percentuale di frazione recuperabile fino al 40% per i piccoli centri e valore nettamente inferiore (20%) per i grandi centri del Sud Italia.

In generale, in una prospettiva ottimistica di gestione dei rifiuti, caratterizzata da elevati valori di intercettazione di materiali recuperabili provenienti dalla raccolta differenziata delle città di piccole dimensioni, si è considerato per gli scenari ipotizzati una percentuale di recupero pari al 50% del totale dei rifiuti solidi urbani prodotti in Sicilia.

Le analisi successive prevedono quindi, come base di partenza, il seguente scenario di recupero del rifiuto ed i conseguenti quantitativi residui da smaltire in discarica (Tabella 25):

Tabella 25: Bilancio globale rifiuti recuperati e conferiti in discarica

<i>Recupero Rifiuti</i>	<i>Grandi Centri</i>	<i>Piccoli e Medi Centri</i>	<i>Totale Regione</i>
Compost di qualità	24.149	484.158	508.307
MPS	122.909	560.918	683827
CSS	214.284	344.358	558.642
Tot. Rifiuti Recuperati (t/a)	361.342	1.389.434	1.750.776
Rifiuti in Discarica (t/a)	348.908	627.886	976.794

Secondo queste ipotesi, circa 510.000 tonnellate/anno di rifiuti organici dovrebbero essere trasformati in compost di qualità, circa 680.000 tonnellate/anno riciclati come materie prime secondarie (MPS) e circa 560.000 tonnellate/anno trasformata in CSS e inviato a trattamento termico.

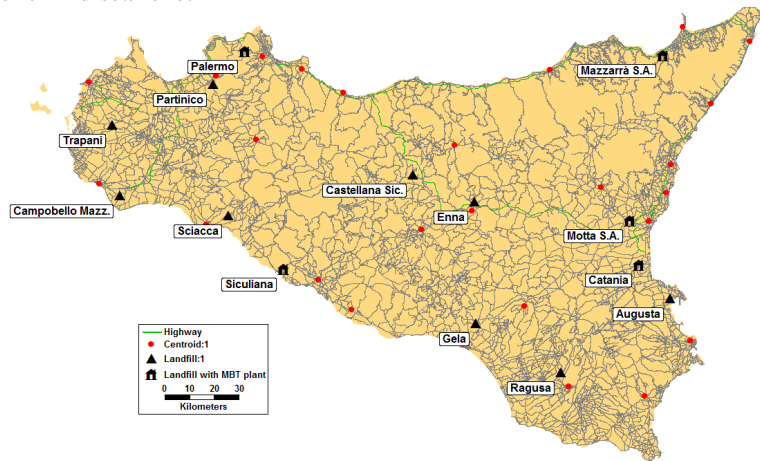
In questo modo, solo circa 1 milione di tonnellate/anno di rifiuti verrebbero smaltiti in discarica. Con le ipotesi adottate, si registra un notevole risparmio conseguente al mancato conferimento in discarica e un ricavo dovuto al collocamento sul mercato dei prodotti recuperati.

Per confrontare le diverse alternative di intervento ed effettuare uno studio comparativo, al fine di indagare i relativi costi di trasporto ambientali ed economici, sono stati presi in esame e analizzati cinque differenti per la gestione dei rifiuti nella regione Sicilia. Il confronto effettuato, è stato condotto tra concezioni totalmente differenti della gestione, quali ad esempio, lo smaltimento in discarica e il trattamento di Rifiuti Urbani Residui (RUR) in impianti di trattamento meccanico-biologico per la produzione di CSS da utilizzare nei cementifici presenti sul territorio.

Si riporta di seguito l'elenco degli scenari presi in esame:

Scenario 1: RUR smaltimento esclusivamente in discarica

Rappresenta il caso "peggiore" (quello attuale), dove il 50% residuo dei rifiuti solidi urbani (RUR) è smaltito presso le 14 discariche esistenti nella regione, dopo un Trattamento Meccanico Biologico (TMB) in specifici impianti, attualmente esistenti solo in 5 delle 14 discariche.



In Tabella 26 si riportano le discariche attualmente in esercizio:

Tabella 26: Discariche in esercizio al 2011 (fonte: Sezione del Catasto Rifiuti Sicilia).

Comune	Proprietà	Comuni serviti (n°)	Volume (m ³)	
			Autorizzato	Residuo
Siculiana (Ag)	Pubblica	70	2.937.000	2.763.000
Sciacca (Ag)	Pubblica	17	150.000	14000
Gela (Cl)	Pubblica	7	534.056	198.356
Motta S. Anastasia (Ct)	Privata	64	1.803.795	313.512
Grotte S.Giorgio (Ct)	Privata	34	900.000	333.392
Enna	Pubblica	20	330.000	in attesa di autorizzazione
Mazzarà S. Andrea (Me)	Gestore	91	1.720.000	1.265.000
Palermo (Pa)	Pubblica	23	200.000	in esaurimento
Partinico (Pa)	Pubblica	12	92.000	in esaurimento
Castellana Sicula (Pa)	Pubblica	13	388.500	208.500
Ragusa (Rg)	Pubblica	4	409.626	114.618
Augusta (Sr)	Privata	21	965.626	233.287
Camp. di Mazzara (Tp)	Pubblica	11	480.000	180.000
Trapani (Tp)	Pubblica	1	350.000	312.514

Trattasi di impianti realizzati e gestiti in conformità con i principi, le modalità e le prescrizioni indicate nel D.Lgs. n. 36 del 13 gennaio 2003.

Per gli impianti aventi capacità di abbancamento inferiore a 300.000 m³ si considera che i volumi di biogas recuperabili non sono sufficienti a garantire il funzionamento di una torcia di combustione; mentre le discariche aventi una volumetria medio- grande, ossia superiore a 300.000 m³, si considerano ciascuna dotate di un impianto di recupero del biogas con produzione di energia elettrica.

Scenario 2: RUR smaltito esclusivamente in inceneritori (vecchio Piano di Gestione)

Il secondo scenario considera i RUR smaltiti in quattro grandi inceneritori. Questo scenario è quasi corrispondente alle ipotesi previste nel vecchio piano rifiuti della regione Sicilia. Gli inceneritori hanno una capacità pari alla somma dei rifiuti prodotti in Sicilia e ripartita in funzione delle aree di competenza assegnate dal vecchio piano regionale.

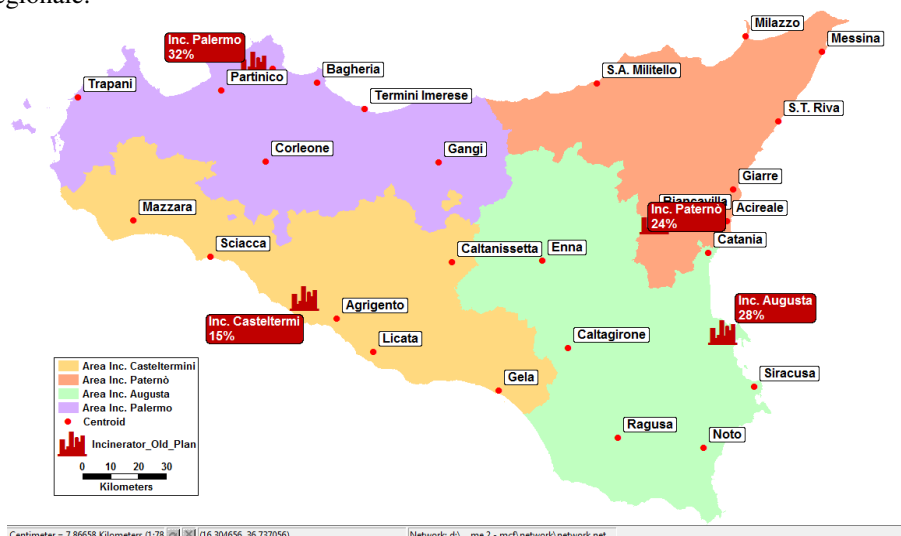


Figura 48: Localizzazione dei quattro inceneritori e aree di competenza

Un altro tipo di studio condotto ci ha fornito la localizzazione ipotetica di tre inceneritori anziché quattro.

Scenario 3: RUR trattato in impianti di TMB e inviati a cementifici come CSS

Questo scenario è stato sviluppato nell'ipotesi che il 50% di rifiuti solidi urbani non riciclabili vengano trattati nei cinque impianti esistenti di TMB (fase A), al fine di separare la frazione secca per la produzione di combustibile solido secondario (CSS). Il CSS prodotto viene poi totalmente fornito e utilizzato dai cementifici esistenti per la produzione di clinker (cemento) in Sicilia (fase B). Questa ipotesi implica una sostituzione del CSS con il combustibile attualmente utilizzato fino ai limiti di alimentazione di ogni cementificio, secondo le BAT dell'UE in materia di industria del

cemento (Commissione Europea, 2010), dove viene indicata la possibilità di avviare allo smaltimento nei forni di produzione di clinker, previa trasformazione in CSS, una quantità di rifiuti che può raggiungere un valore massimo dell'80% del potere calorifico del combustibile tradizionalmente impiegato.

L'impiego di CSS nei forni dei cementifici rappresenta, dunque, da un lato una possibilità di risparmio energetico ed economico per le aziende cementifere, e dall'altro una possibilità di risparmio di risorse naturali e di fonti fossili (carbone, gas o olio di alimentazione dei forni) e di riduzione delle emissioni di gas serra e, in generale, di composti inquinanti. L'utilizzo di CSS nei forni da cemento, inoltre, non produce alcun residuo solido di processo: le ceneri risultanti dalla combustione vengono inglobate nel clinker, che rimane l'unico prodotto solido che esce dal processo di produzione del cemento. Inoltre, non si produce alcun reflujo di processo in quanto il processo di produzione avviene sostanzialmente a secco.

Di seguito sono riportati e individuati i dettagli degli impianti in esame:

Tabella 27: Impianti di Trattamento Meccanico Biologico e cementifici

Cementifici			Impianti TMB	
Località	Proprietà	Capacità di ricezione (%)	Località	Capacità di ricezione (%)
Modica	Colacem	18%	Palermo	32%
Ragusa	Colacem	18%	Catania	16%
Porto Empedocle	Italcementi	24%	Motta S. Anastasia	24%
Isola delle Femmine	Italcementi	24%	Siciliana	15%
Augusta	Buzzi Unicem	18%	Mazzarrà S. Andrea	12%



Figura 49: Localizzazione degli impianti di TMB e dei cementifici

Considerato che alcuni impianti di TMB sono già in funzione per legge e volendone utilizzare l'attuale capacità di produzione di CSS in simbiosi con la presenza sul territorio di cementifici in grado di assorbire almeno parte di questi flussi, è stato quindi evidenziato come si potrebbe agevolmente arrivare, attraverso l'ulteriore implementazione di alcuni impianti dedicati, ad una configurazione ottimale della filiera raccolta differenziata/separazione del secco/trasformazione in CSS e avvicinarsi ad una gestione dei rifiuti siciliani che possa considerarsi finalmente ed efficacemente integrata.

Per i suddetti impianti di TMB siti presso le località di Siculiana, Palermo e Mazzarrà S. Andrea, si ipotizzano potenzialità di trattamento pari alle quantità di RSU indifferenziato in ingresso agli stessi. Mentre riguardo alle capacità degli impianti attualmente localizzati a Motta S. Anastasia e a Catania si fa riferimento alle potenzialità autorizzate.

Ai fini dell'applicazione della procedura di LCA, si fa presente che per quanto concerne la tipologia dell'impianto di Palermo si assumono per esso analoghe caratteristiche all'impianto sito a Catania, mentre gli impianti di Siculiana e Mazzarrà S. Andrea si assumono identici per tipologia all'impianto di TMB di Motta S. Anastasia. Di seguito si riportano le tipologie impiantistiche dei due impianti presi di riferimento.

IMPIANTO DI TRATTAMENTO MECCANICO-BIOLOGICO DI CATANIA (Sicula trasporti S.r.L):

L'impianto caratterizzato da una prima fase di preselezione dei rifiuti indifferenziati è attualmente suddiviso su 2 linee distinte, ciascuna delle quali comprende:

- una fase di preselezione grossolana (1 lotto), costituita da una triturazione, una vagliatura, una separazione dei metalli ferrosi e non e una pressatura del materiale grossolano.
- una fase di raffinazione del rifiuto organico (2 lotto), costituita da una vagliatura secondaria, con produzione di un sottovaglio da avviare a stabilizzazione e un sopravaglio da avviare a recupero con separazione balistica e separazione ad infrarosso con separazione dei materiali riciclabili.

Oltre all'unità di selezione, l'impianto di trattamento meccanico biologico risulta dotato dell'unità di biostabilizzazione, la quale prevede l'utilizzo di un trattamento biologico di stabilizzazione e compostaggio in cumuli statici delle matrici organiche derivanti dalla selezione di R.S.U. indifferenziati, ovvero un trattamento con riduzione di peso- volume ed igienizzazione dei R.S.U., in base alla riproposizione e all'ottimizzazione dei processi biologici che normalmente avvengono in natura.

IMPIANTO DI TRATTAMENTO MECCANICO-BIOLOGICO DI MOTTA S. ANASTASIA (Oikos S.r.L):

L'impianto caratterizzato da una prima fase di pretrattamento dei rifiuti indifferenziati non pericolosi è attualmente suddiviso su 2 identiche linee di selezione ciascuna caratterizzata da un dilaceratore, un doppio processo di vagliatura affidato a vagli a tamburo rotante ai quali sono annessi separatori magnetici per la selezione dei metalli ferrosi e separatore a correnti indotte per la selezione dei metalli non ferrosi, entrambe le frazioni sono destinate al recupero dei materiali ferrosi e non ferrosi

L'unità di biostabilizzazione è caratterizzata da una tipologia impiantistica denominata "Bioreattore", la quale permette di ottenere una frazione organica biodegradabile da impiegare per il ricoprimento in discarica.

Scenario 4: RUR trattato in impianti di TMB e inviati a cementifici e gassificatori come CSS

Il quarto scenario è simile al precedente, ma si prevede di suddividere il quantitativo totale di CSS in due diversi flussi: un quantitativo ridotto di CSS viene indirizzato ai cementifici esistenti, mentre la restante parte viene inviata a tre piccoli gassificatori, dei quali solamente uno è già stato autorizzato presso la discarica di Catania (Grotte St. Giorgio), mentre altri due potrebbero essere realizzati rispettivamente presso la discarica di Palermo e in prossimità di Milazzo.

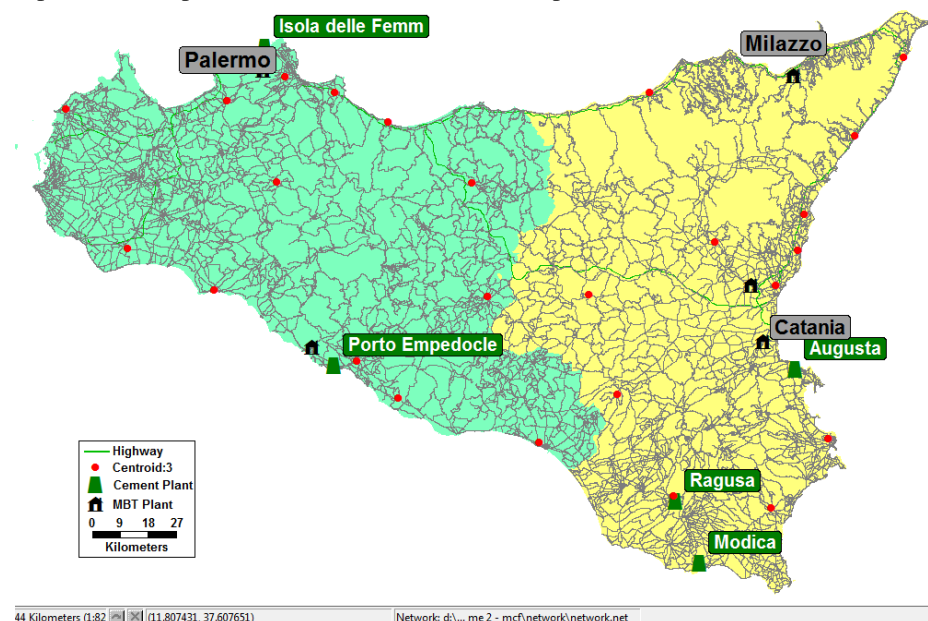


Figura 50: Localizzazione degli impianti di TMB, dei cementifici e dei gassificatori

Scenario 5: RUR inviato a tre inceneritori (nuova ipotesi)

Il quinto scenario ipotizzato riguarda la realizzazione di tre inceneritori, localizzati rispettivamente in aree prossime ai tre maggiori centri regionali di produzione di RSU: Palermo, Catania e Messina (Milazzo).

La capacità degli inceneritori, e la loro idonea localizzazione, è stata ottenuta con la procedura di "Facility Location" implementato con il software TransCAD.

Nella Figura 51 sono localizzati, per area geografica, i tre inceneritori.

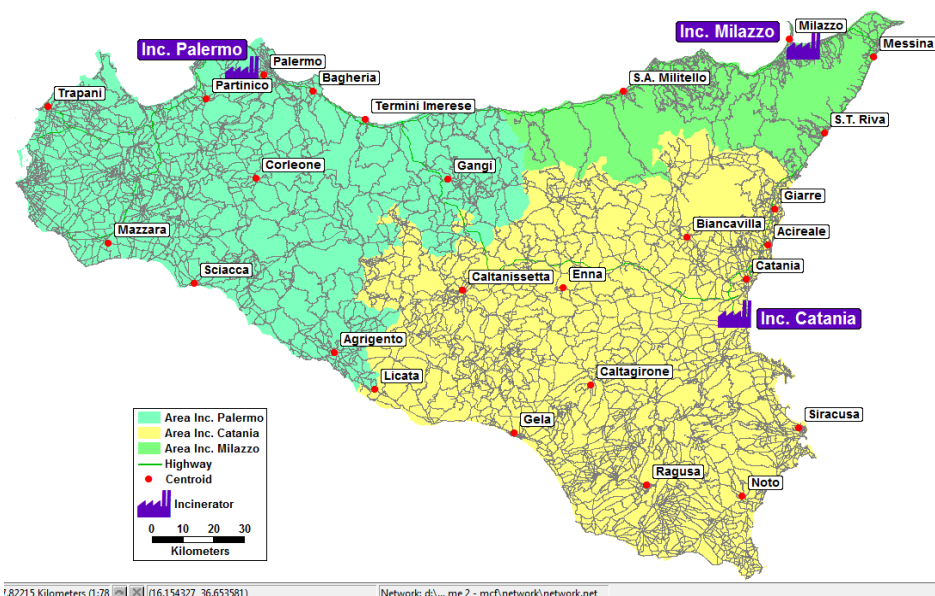


Figura 51: Localizzazione dei tre termovalorizzatori e aree geografiche di competenza

7.2 Metodologia applicata

Il problema che questa parte dello studio vuole affrontare è conosciuto nella ricerca scientifica con il nome di *transportation problem* o *problema del trasporto*.

Nello studio si è supposto di avere m centroidi, che sono rappresentativi della produzione di merci, e n impianti dislocati sul territorio che devono trattare la merce.

Supponiamo di avere m centroidi in cui si ha una determinata produzione di merci e n impianti a cui devono essere portate. Nel centroide i è immagazzinata la quantità a_i di merce mentre, nell'impianto j vi è la possibilità di gestire la quantità b_j di prodotto. Un ulteriore dato che deve essere fornito è il costo di trasporto di un'unità di rifiuto dal centroide i all'impianto j è pari a c_{ij} .

Il problema del trasporto consiste nel determinare quale quantità di merce prodotto inviare da ciascun centroide verso ciascun impianto in modo tale da minimizzare il costo complessivo di trasporto, rispettando i vincoli sulle quantità di prodotto presenti in ciascun centroide e quelli gestibili da ciascun impianto.

I modelli di ottimizzazione dei flussi di rifiuti e della localizzazione degli impianti per il loro trattamento e/o smaltimento sono stati applicati al caso studio della gestione dei rifiuti regionale in Sicilia, avente una superficie di 25.711 km² e una popolazione attuale di circa 5 milioni di abitanti.

Nella regione lo smaltimento dei rifiuti in discarica è ancora la soluzione dominante (circa 90%). Tuttavia la politica della Comunità Europea permette l'uso di discariche solo per lo smaltimento di rifiuti che non possono essere ulteriormente trattati e riciclati. L'obiettivo principale per una corretta gestione dei rifiuti urbani nella regione

è quindi di ridurre drasticamente la percentuale di smaltimento dei rifiuti in discarica. In Sicilia, le discariche sono concentrate principalmente in quattro aree geografiche: Palermo, Catania, Messina e Agrigento. Prima di una applicazione seria di raccolta differenziata (attualmente inferiore al 7%), è fortemente necessario lo sviluppo di impianti di pre-trattamento e raffinazione dei materiali raccolti (impianto di compostaggio e impianti di selezione). Il lungo ritardo sulla approvazione e realizzazione di impianti di trattamento dei rifiuti, ha infatti gravemente arretrato il sistema della raccolta differenziata. Appare quindi obbligatorio iniziare a costruire queste strutture, e l'applicazione di appropriate tecnologie, sulla base dell'analisi dei flussi di rifiuti.

I dati relativi alla regione Sicilia sono sintetizzati e riportati di seguito:

- Estensione superficiale: 25.711 km²
- Popolazione: 5.045.176
- Densità abitativa: 196,23 ab/km²
- Rifiuti solidi urbani prodotti: 2.727.570 t/a
- Produzione pro-capite: 520 kg/ab/a (comparabile con il valore medio di 540 kg/ab/a).

Per ridurre la complessità del sistema, il territorio siciliano è stato diviso in ventisei macro zone (zonizzazione, Figura 52), ciascuno associato ad un nodo rappresentativo (centroide) caratterizzato da informazioni specifiche quali densità di popolazione, produzione di rifiuti, etc...

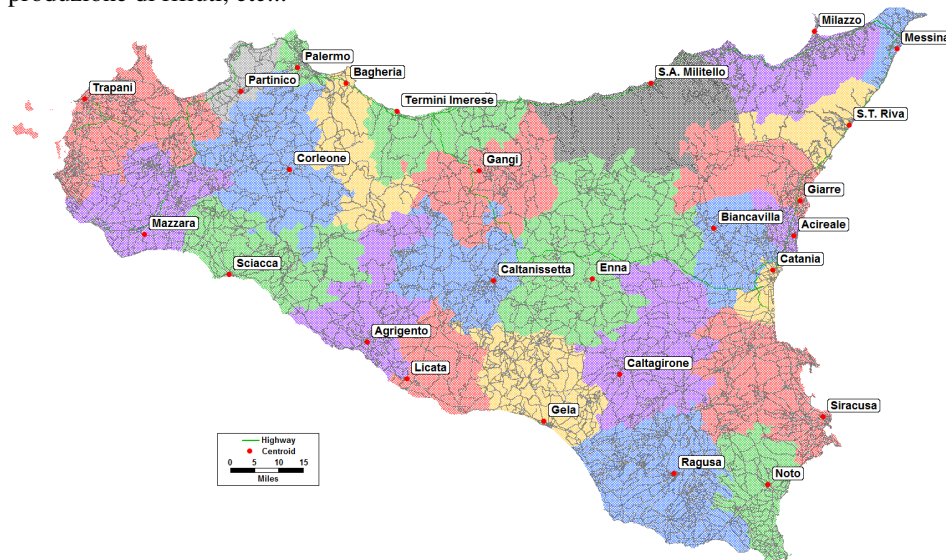


Figura 52: Zonizzazione del territorio oggetto di studio

Attraverso la procedura di "Facility location" sono state definite le aree più idonee per la localizzazione dei siti presso cui realizzare gli impianti ipotizzati.

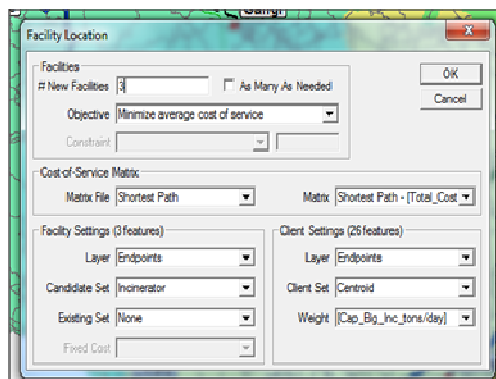


Figura 53: Procedura per l'applicazione del modello "Facility Location" sulla piattaforma TransCad

L'applicazione del modello di risoluzione del problema del minimo costo, ha permesso una redistribuzione dei flussi di CSS e RUR per i diversi scenari analizzati. Le procedure si basano su modelli matematici in esecuzione all'interno della piattaforma software TransCad, in grado di includere tutti i dati socio-economici e territoriali oggetto di studio.

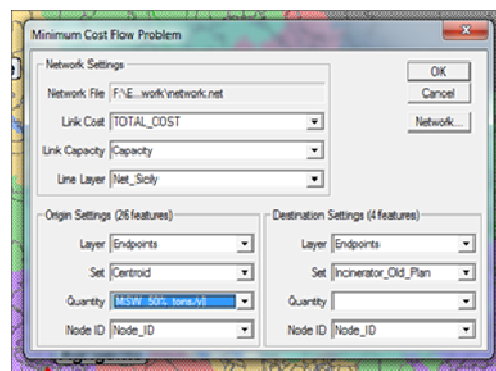


Figura 54: Procedura per l'applicazione del modello "Minimum Cost Flow" sulla piattaforma TransCad

Il problema di minimo costo è stato implementato come una specifica formulazione più generale "problema del trasporto"; sono stati, pertanto, ricavati i flussi di rifiuti x_{ij} , dalla zona di produzione 'i' allo smaltimento/trattamento presso l'impianto di destinazione 'j', ai quali sono associati i costi di trasporto c_{ij} , al fine di minimizzare la funzione di costo totale di trasporto Z:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij}$$

Il problema è sottoposto a diversi vincoli (diverse produzione di rifiuti per le rispettive zone individuate e capacità degli impianti di trattamento) così che il percorso di trasporto più breve non risulta sempre il più conveniente ai fini della minimizzazione della funzione di costo.

Per riuscire ad ottenere i flussi di rifiuti esistenti tra centroidi (baricentro delle aree antropizzate) ed impianti, sono stati analizzati i quantitativi di rifiuto prodotti in un centroide giornalmente e individuati gli impianti presso cui il centroide va a conferire. Il flusso giornaliero è espresso in t/giorno. Definiti i flussi di rifiuto che si generano sul territorio siciliano, si è assegnato ad essi un costo il cui valore di letteratura è legato a un insieme di fattori connessi sia al tragitto che deve essere coperto tra centroide-impianto sia connessi al mezzo adibito a compiere tale trasporto. Considerando che il trasporto dei rifiuti, in un territorio, in genere è quasi esclusivamente su gomma, si è optato all'utilizzo di auto compattatori aventi capacità complessiva pari a 20t.

Definire il costo unitario di trasporto non è facile perché ci sono molte variabili in gioco che non sono sempre facilmente quantificabili in termini monetari. I fattori che influiscono nella definizione dell'attribuzione del costo di trasporto del rifiuto sono diversi: la distanza del tragitto percorso dal centroide all'impianto, il tempo impiegato per coprire la distanza, costo di carburante, costo della manutenzione del mezzo e la tasso di proprietà. Utilizzando i suddetti costi specifici si è ottenuto un costo di trasporto unitario di 0,11 €/ton-km, valore considerato in questo lavoro.

Tabella 28: Costo per ton-km di un compattatore a quattro assi.

Reference	Units	Quantity
Average amounts carried	tons	20.0
Truck capacity	m ³	36
New truck cost	€	150,000.00
Average annual distance	km	20,000
Fuel cost (Diesel)	€/l	1.78
Fuel consumption	l/km	0.330
Lube oil consumption	Kg/km.	0.003
Lube oil cost	€/km	4.65
Number of tires for each set	num.	10
Duration of the tyres set	km	30,000
Unit cost of each tyre	€	465.87
Rate of interest	%	0.045
Period of amortization	years	7
Property tax	€	235.33
Truck insurance	€	2,124.36
Truck maintenance and washing	%	0.10
Total cost for kilometers	€	1.31
Total operating cost	€/y	26,200.00
Annual amortization rate	€/y	21,428.57
Total Annual Cost	€/y	47,628.57
Total Cost per ton-km	€/(ton-km)	0.119

Per poter ottenere il costo dei flussi di trasporto ottimizzati, sono state caricate nel modello tutte le informazioni necessarie relative alla rete stradale siciliana, individuando, pertanto, le diverse tipologie di strade esistenti in Sicilia che collegano tutti i nodi presi in esame nel presente studio.

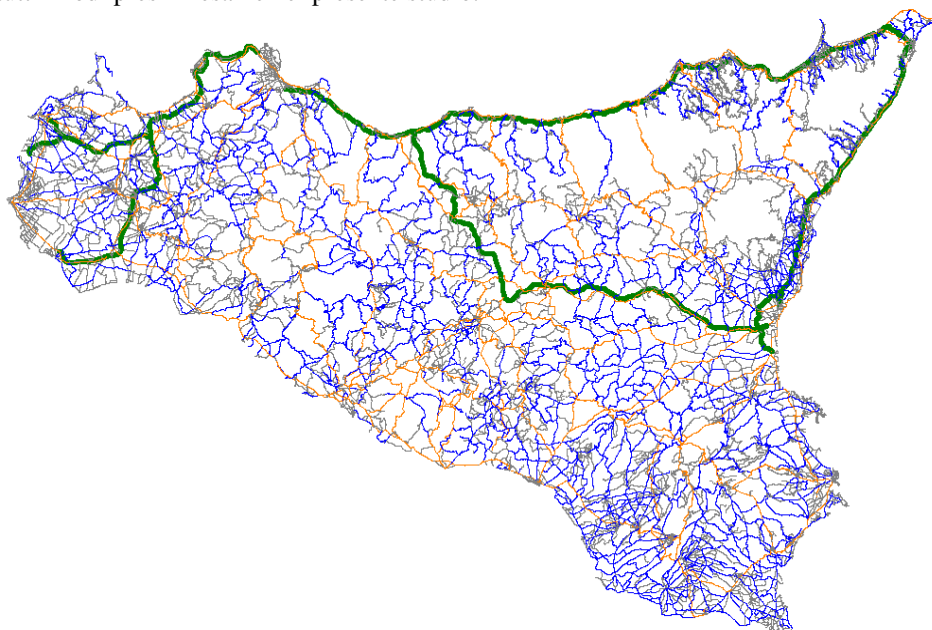


Figura 55: Rete stradale siciliana

7.2.1 Metodologia per la valutazione degli impatti sull'ambiente: *Life Cycle Assessment (LCA)*

La norma ISO 14040 definisce la fase di valutazione degli impatti come “*Fase di una LCA destinata allo studio e alla valutazione del potenziale impatto ambientale provocato dal sistema-prodotto in esame, che ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito dei consumi di risorse e dei rilasci nell'ambiente calcolati nell'inventario*”. È la fase di passaggio dalla raccolta e analisi dei dati allo studio degli effetti ambientali.

Da un punto di vista metodologico, la LCA è definita come: “*un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la produzione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale*”.

Una LCA, quindi, è fondamentalmente una tecnica quantitativa che permette di determinare i fattori in ingresso (materie prime, uso di risorse, energia, ecc.) e in uscita

(consumi energetici, produzione di rifiuti, emissioni inquinanti) dal ciclo di vita di ciascun prodotto valutandone i conseguenti impatti ambientali).

Una LCA offre i seguenti vantaggi:

- quantificazione completa degli impatti ambientali;
- osservazione delle criticità ambientali del ciclo di vita;
- quantificazione del risparmio energetico primario e delle emissioni evitate;
- quantificazione dei benefici ambientali.

La struttura moderna della LCA proposta dalla norma ISO 14040 è sintetizzabile in quattro momenti principali:

1. definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione (Goal Definition and scope): è la fase preliminare nella quale sono definite le finalità dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema studiato, i dati necessari, le assunzioni ed i limiti (ISO 14041);
2. analisi di inventario (Life Cycle Inventory , LCI): comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare i flussi di energia e materiali in entrata e in uscita del sistema produttivo in esame. Redigere un inventario di ciclo di vita consiste nel costruire il modello analogico del sistema reale che si intende studiare;
3. valutazione degli impatti (Life Cycle Impact Assessment , LCIA): è lo studio dell'impatto ambientale provocato dal processo o attività, che ha lo scopo di evidenziare l'entità delle alterazioni generate a seguito dei consumi di risorse e dei rilasci nell'ambiente calcolati nell'inventario.
La struttura generale di una LCIA è composta da quattro fasi: classificazione, caratterizzazione, normalizzazione e pesatura. Le prime due fasi, indicate come obbligatorie, convertono i risultati della fase di inventario in opportuni indicatori. Le altre due fasi, indicate come facoltative essendo caratterizzate da uno scarso accordo e da una scarsa chiarezza scientifica, collegano gli indicatori ai corrispondenti giudizi di valore, riconducendo i risultati dell'LCA ad un risultato numerico o ad un punteggio globale (ISO 14042);
4. interpretazione dei risultati (Life Cycle Interpretation): è la parte conclusiva nella quale vengono analizzati i risultati ottenuti nelle fasi precedenti, ed identificate le parti del sistema in cui possono essere apportati dei cambiamenti al fine di ridurre l'impatto ambientale dei processi o delle attività considerate (ISO14043).

Gli elementi necessari per la valutazione degli impatti sono:

- la *selezione delle categorie di impatto* (effetti ambientali) e degli indicatori ambientali che le rappresentano;
- l'attribuzione dei risultati dell'analisi d'inventario alle categorie di impatto selezionate (*classificazione*) in base agli effetti che esse provocano o possono provocare sull'ambiente.

Viene cioè attribuito un “peso” alle diverse sostanze. Tale peso, che è un valore adimensionale, è attribuito in relazione all’effetto più o meno intenso che le sostanze hanno sull’ambiente.

La fase successiva alla redazione dell’Inventario è la fase di Valutazione degli Impatti, cioè la quantificazione degli impatti ambientali provocati dal flusso di materia e energia attraverso il sistema. La valutazione degli impatti è un passo fondamentale per il corretto svolgimento di uno studio di LCA e il software “SimaPro” offre una vasta scelta di metodi da utilizzare.

Il software SimaPro

SimaPro, prodotto dalla società olandese Prè Consultant, è oggi uno dei software più diffusi per condurre gli studi di LCA; implementato per la prima volta nel 1990 tale software è utilizzato da utenti di oltre 60 paesi al mondo ed in particolare modo dalle grandi industrie, società di consulenza ed università per condurre importanti valutazioni sulle prestazioni ambientali di svariati prodotti, processi e servizi. Esso offre una grande flessibilità disponendo di vari parametri di modellazione, permette l’analisi interattiva dei risultati e viene fornito con un database di grandi dimensioni. La versione più recente è SimaPro 7.3.3. che permette di raccogliere, monitorare e analizzare le prestazioni ambientali di prodotti e servizi, analizzando in modo sistematico e trasparente cicli di vita anche complessi, seguendo le raccomandazioni delle norme della serie ISO 14040.

Caratteristiche del software

Le caratteristiche principali del software SimaPro sono le seguenti:

- a. interfaccia con l’utente intuitiva e seguente la norma ISO 14040;
- b. modellazione facile, con una sezione “Wizard” di assistenza per l’uso;
- c. possibilità di modellare vari parametri, ossia eseguire analisi di sensibilità, analisi di incertezza, definire relazioni non lineari tra i parametri stessi, valutare scenari alternativi per i prodotti analizzati, ottenendo così diversi scenari di studio;
- d. disponibilità di un certo numero di banche dati nazionali basate su statistiche economiche ed ambientali per l’inserimento di dati in input ed in output;
- e. link diretti al software di calcolo Excel o ASP;
- f. possibilità di calcolo diretta per la valutazione degli impatti per ogni fase del modello;
- g. analisi di incertezza tramite il metodo di Monte Carlo;
- h. risultati disponibili in grafici o tabelle;
- i. analisi interattiva dei risultati, con possibilità di arrivare immediatamente alle origini del risultato ottenuto;
- j. possibilità di presentare risultati personalizzati, scegliendo come raggrupparli e visualizzarli;
- k. disponibilità di utilizzare l’albero di processo per individuare eventuali “punti caldi”;

- l. possibilità di filtrare tutti i risultati;
- m. analisi del trattamento dei rifiuti e degli scenari di riciclaggio;
- n. assegnazione di molteplici processi di produzione.

La procedura SimaPro e le assunzioni di base

Con una popolazione di circa 5 milioni di abitanti, distribuiti su una superficie di 25.711 km², la Regione conta una produzione annua di rifiuti pari a circa 2,6 milioni di tonnellate. La fase di acquisizione di tutti i flussi di rifiuti prodotti dai vari centri indici è stata la fase più importante dell'attività, infatti, a tal fine sono state implementate le diverse frazioni merceologiche intercettate nei centri di produzione di rifiuti.

I dati utilizzati per caratterizzare la produzione di rifiuti e la composizione merceologica si riferiscono all'anno 2011. I limiti geografici del sistema considerato si estendono all'intera isola.

Successivamente è stata definita la Funzione, l'Unità Funzionale ed il Flusso di Riferimento caratteristici del sistema, ed infine sono state inquadrare le unità funzionali interne ai confini di analisi.

Nel dettaglio, la funzione è stata identificata nelle attività di trasporto dei rifiuti solidi urbani, l'unità funzionale nella tonnellata di rifiuti trasportata giornalmente ed infine il flusso di riferimento è stato quantificato come la produzione di rifiuti in un arco temporale di un anno.

In questo lavoro la metodologia LCA è utilizzata per effettuare un confronto tra due degli scenari sopra menzionati per gli impatti associati alla fase di trasporto dei rifiuti.

Tra gli ecoindicatori disponibili nel programma si è optato per EcoIndicator 99 (Goedkoop & Spriensma 2001), tra i più utilizzati in ambito sia europeo sia italiano. Fra i tre set predefiniti all'interno di EcoIndicator 99, che corrispondono a tre differenti visioni della società: *egalitariana*, *gerarchica*, *individualista*, si è deciso di adottare come base la visione gerarchica, che assume una prospettiva a medio termine di valutazione dei danni ambientali e appare dunque maggiormente appropriata per la valutazione di piani e programmi. In tal modo si è giunti alla definizione del sistema completo oggetto della successiva fase.

Allo scopo di modellizzare la fase di trasporto l'analisi è stata spinta all'approfondimento delle attività di trasporto (dei rifiuti e scarti) intesa in termini di caratterizzazione della categoria di automezzo utilizzato le cui emissioni prodotte sono proporzionali al prodotto del chilometraggio percorso dal mezzo per il carico trasportato, e successivamente, in termini di distanze percorse dai luoghi di produzione ai luoghi di destinazione, fino ad arrivare alla caratterizzazione dei macchinari necessari al trattamento dei rifiuti; tutto ciò costituisce l'analisi d'inventario.

I parametri di funzionamento sono stati estrapolati da dati di letteratura e dati relativi ad impianti realmente presenti sul territorio, con riferimento agli impianti di trattamento meccanico biologico, ai cementifici ed infine agli impianti di smaltimento.

In seguito è brevemente descritto il metodo di valutazione incluso nella versione di SimaPro.

ECO-INDICATOR 99

Tale metodo, derivato dall'aggiornamento e sviluppo del metodo Eco-indicator 95, esprime gli impatti in tre macro-categorie di danno, che racchiudono differenti categorie di impatto.

Le categorie di danno considerate sono quelle connesse:

- alla salute umana (*Human Health – HH*);
- alla qualità degli ecosistemi (*Ecosystem Quality – EQ*);
- alle risorse (*Resources – R*).

I danni sulla *salute umana* sono espressi in DALY (Disability Adjusted Life Years) ciò significa che vengono pesate le diverse disabilità causate da varie malattie; in questa categoria sono modellati i danni causati da tutte le sostanze che abbiano un impatto sulla respirazione (composti organici ed inorganici), sulla carcinogenesi, sui cambiamenti climatici e sullo strato di ozono; sono comprese in questa categoria anche le radiazioni ionizzanti.

I modelli di danno utilizzati per le emissioni comprendono quattro *step* che includono l'analisi del destino, l'esposizione, l'analisi degli effetti e l'analisi dei danni:

1. Fate analysis: lega le emissioni (espresse come massa) ad un cambiamento di concentrazione nel tempo;
2. Exposure analysis: lega le concentrazioni alle dosi, cioè quantitativi assunti dagli organismi;
3. Effect analysis: lega le dosi alla quantità di effetti prodotti, come, ad esempio, il numero e la tipologia di neoplasie;
4. Damage analysis: lega gli effetti sulla salute ai DALY's, utilizzando il numero di Years lived Disabled (YLD) e Years of Life Lost (YLL).

I danni alla *qualità degli ecosistemi* sono espressi come la percentuale di specie di piante che si stima siano scomparse da una certa area a causa delle mutate condizioni ambientali ($PDF \cdot m^2 \cdot yr$, $PDF =$ Potentially Disappeared Fraction of plant species). In particolare, l'ecotossicità è espressa come la percentuale di specie che vivono in una certa area in condizioni di stress. L'acidificazione e l'eutrofizzazione sono trattate in una singola categoria di impatto e vengono modellate utilizzando delle specie target (piante vascolari).

Gli impatti derivanti dall'utilizzo del suolo e dalle sue trasformazioni sono basati su dati empirici relativi alla presenza/assenza di piante vascolari, che è funzione dell'utilizzo del suolo e dell'ampiezza dell'area. Sono modellati sia gli impatti locali che quelli regionali.

I danni sulle *risorse* comprendono l'estrazione e l'utilizzo di risorse minerarie e di combustibili. L'estrazione di risorse è correlata a parametri che indicano la qualità delle risorse minerarie e fossili che rimangono nei giacimenti. L'impatto su questa categoria viene quantificato in termini di maggior energia necessaria per le estrazioni future (MJ surplus energy).

L'*Ecoindicator 99* è strutturato per un livello europeo; i danni sono normalizzati e ponderati, rispetto al danno causato da un cittadino europeo in un anno.

La valutazione del danno nelle tre categorie è poi aggregata in un unico indice (*single score*) che permette di dare un "punteggio" agli scenari. Quanto più elevato è il valore del *single score*, tanto maggiore è il danno causato dal processo in esame.

Il contributo relativo delle tre categorie alla definizione dell'indice è stabilito secondo tre diversi modelli che rappresentano diversi "approcci culturali" rispetto alle problematiche ambientali.

In sintesi, i possibili modelli di attribuzione di peso sono tre:

1. Individualistico (*Individual perspective – I*): questo approccio considera solo le sostanze i cui effetti dannosi, sul breve periodo (100 anni al massimo), sono dimostrati; assume inoltre che l'adozione di opportune tecnologie e lo sviluppo economico possano risolvere tutti i problemi ambientali. La differenza eclatante rispetto alle altre due prospettive è l'assunzione secondo cui i combustibili fossili non sono esauribili: la categoria di impatto relativa è, infatti, lasciata fuori dalla fase di attribuzione dei pesi. I pesi attribuiti alle categorie di danno per l'individuazione dell'indicatore sono: *HH 40 % - EQ 40 % - R 20 %*.
2. Gerarchico (*Hierarchical perspective – H*): questo approccio considera tutte le sostanze sui cui effetti dannosi c'è consenso, anche se non sono dimostrati, e si esplicano sul medio periodo; assume inoltre che i problemi ambientali possano essere risolti attraverso adeguate scelte politiche. I pesi attribuiti alle categorie di danno per l'individuazione dell'indicatore sono: *HH 30 % - EQ 50 % - R 20 %*.
3. Egalitario (*Egalitarian perspective – E*): questo approccio considera tutte le sostanze che possono provocare effetti dannosi, anche se su tali effetti non c'è consenso, e li considera sul lungo periodo. E' un approccio molto conservativo in quanto è basato sul presupposto che i problemi ambientali siano difficilmente risolvibili e possano portare a catastrofi. I pesi attribuiti alle categorie di danno per l'individuazione dell'indicatore sono: *HH 25 % - EQ 55 % - R 20 %*.

RECIPE 2008

Il metodo Recipe nasce con l'idea di implementare una metodologia LCIA che sia armonizzata in termini di modellazione dei principi e delle scelte da seguire per una valutazione di un qualsiasi prodotto o attività.

Recipe 2008 comprende diciotto categorie di impatto che sono:

1. cambiamento climatico (CC);
2. assottigliamento dello strato di ozono (OD);
3. acidificazione terrestre (TA);
4. eutrofizzazione delle acque dolci (FE);
5. eutrofizzazione marina (ME);
6. tossicità umana (HT);
7. ossidazione fotochimica (POF);
8. formazione di particolato (PMF);
9. ecotossicità terrestre (TET);
10. ecotossicità delle acque dolci (FET);
11. ecotossicità marina (MET);
12. radiazione ionizzante (IR);
13. occupazione di terreno agricolo (ALO);

14. occupazione di terreno urbano (ULO);
15. trasformazione del suolo naturale (NLT);
16. esaurimento delle risorse idriche (WD);
17. esaurimento delle risorse minerali (MRD);
18. esaurimento del combustibile fossile.

A livello di danno molte di queste diciotto categorie di impatto, sono ulteriormente convertite e aggregate nelle seguenti tre categorie:

- danno alla salute umana (HH);
- danno alla diversità dell'ecosistema (ED);
- danno alla disponibilità di risorse (RA).

In maniera simile al metodo Eco-indicator 99, anche per il Recipe 2008 sono state sviluppate tre versioni usando la cosiddetta "Cultural Theory"; in accordo con tale teoria un consistente numero di scelte soggettive basate sull'orizzonte temporale possono essere raggruppate e identificate in tre diverse prospettive: individualista (I), gerarchica (G) ed egualitaria (E).

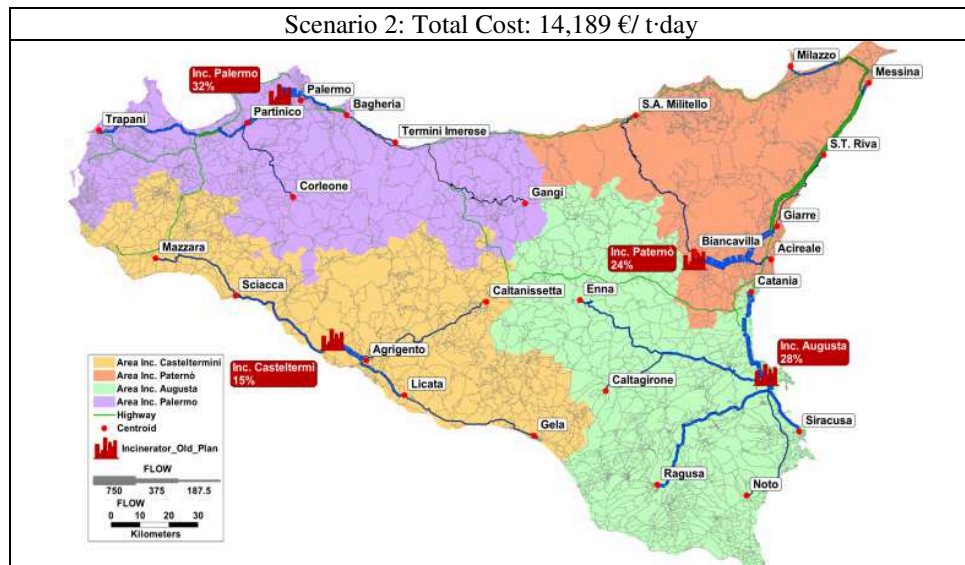
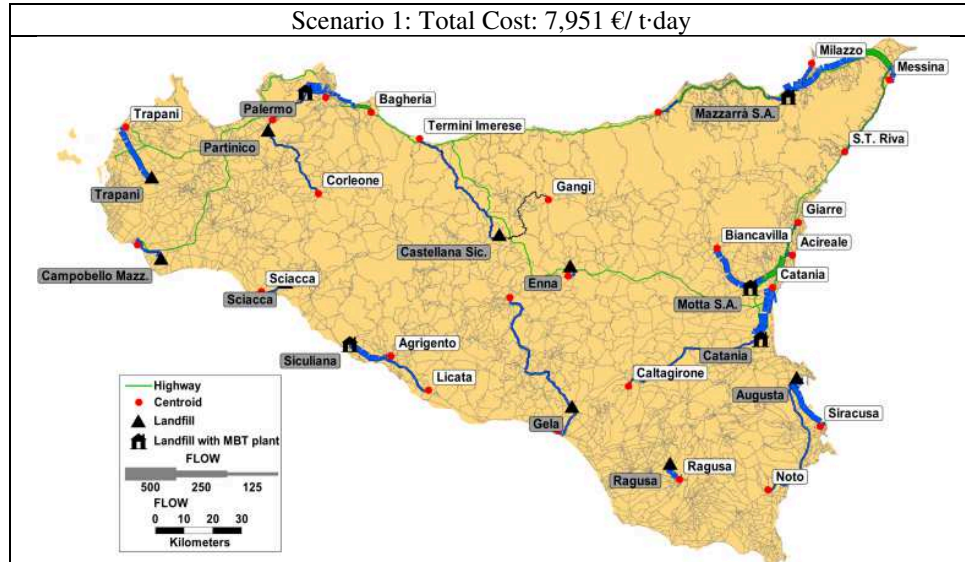
Un'osservazione importante sulla quale occorre fare le adeguate valutazioni è che meccanismi ambientali come l'acidificazione, l'eutrofizzazione, la formazione fotochimica di ozono, la tossicità, l'uso del suolo e dell'acqua dipendono in maniera rilevante dalle condizioni regionali e da vari parametri differenti da regione a regione. Per il modello Recipe 2008 si sono spesso usati modelli su scala europea per la modellizzazione di tali meccanismi, cercando un adeguato sviluppo per poter generalizzare il più possibile tali modelli per tutti i paesi sviluppati presenti nella fascia delle regioni temperate. Ciò significa che il modello Recipe 2008 ha una validità limitata.

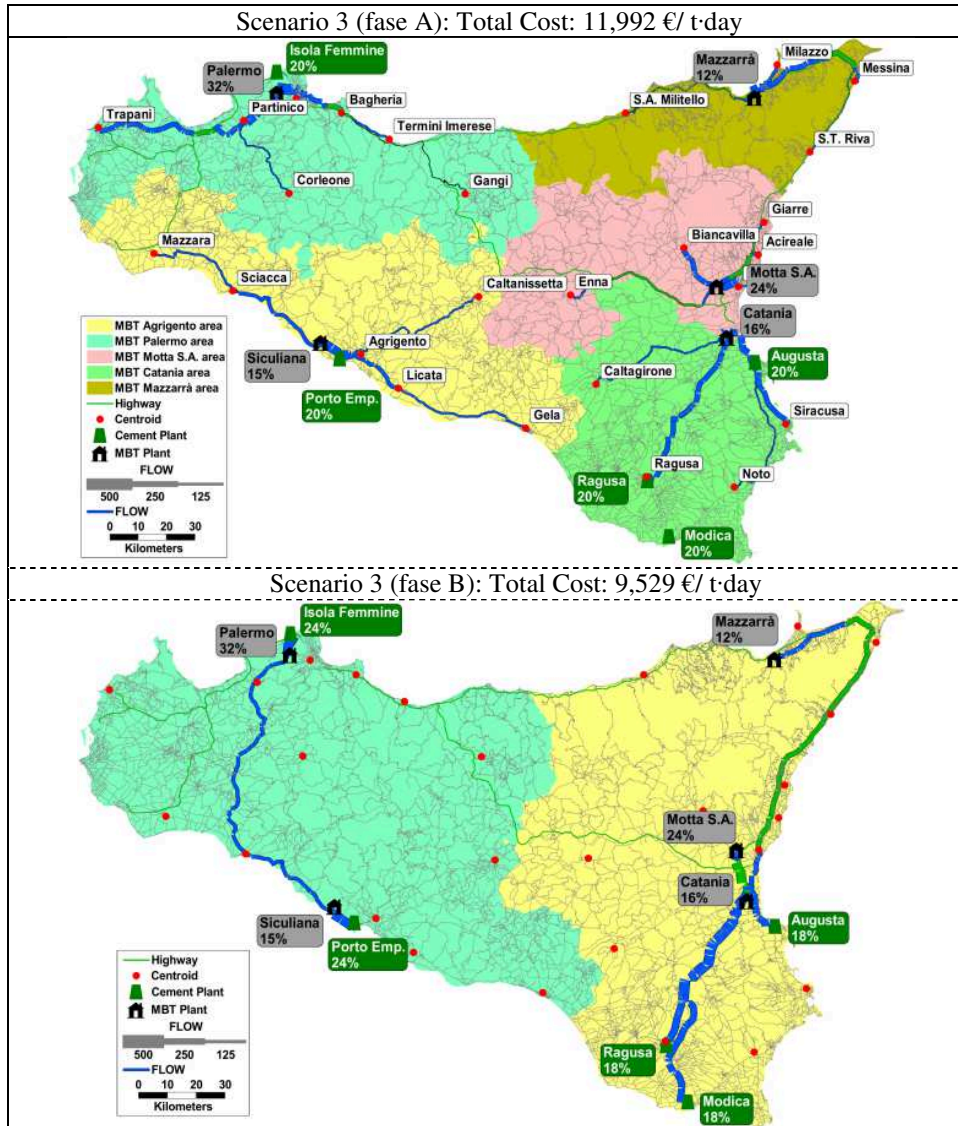
7.3 Risultati

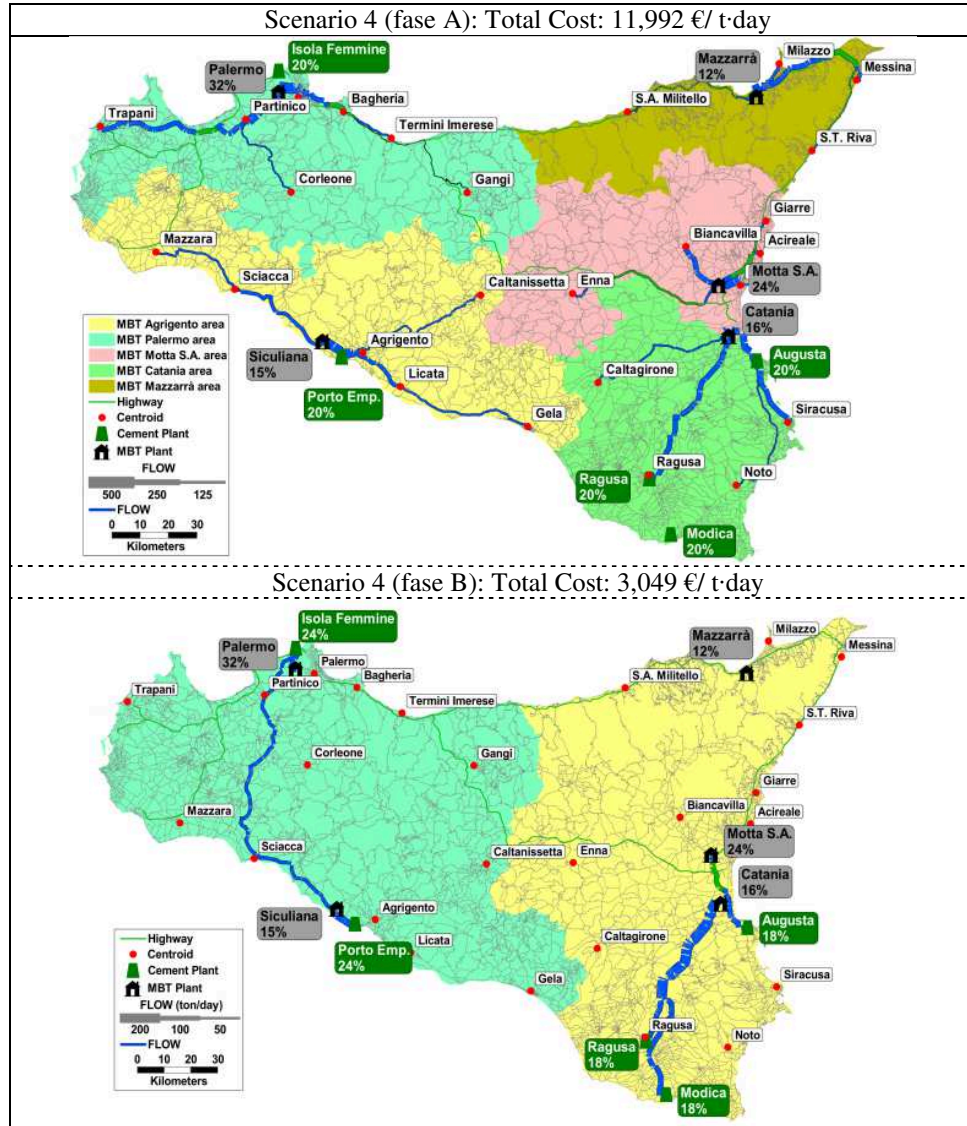
7.3.1 Ottimizzazione dei flussi e attribuzione dei costi di trasporto

Il modello di ottimizzazione è stato implementato al fine di ottenere i flussi giornalieri ottimizzati dei rifiuti ed i relativi costi di trasporto dal nodo di produzione agli impianti di smaltimento e/o trattamento finale.

Di seguito si riporta l'elaborazione grafica dei flussi e i costi per ognuno dei cinque scenari descritti nel paragrafo 7.1:







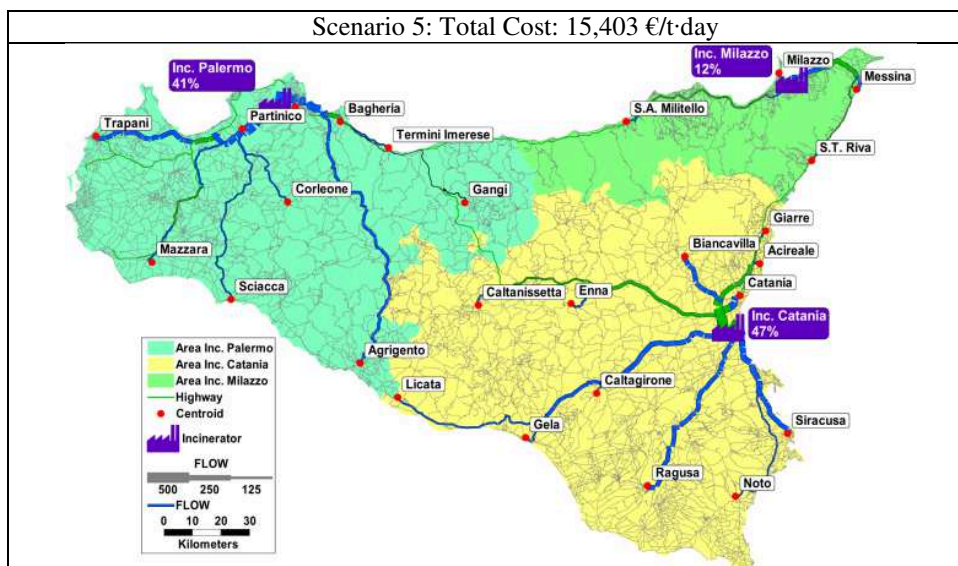


Figura 56: Scenari potenziali per la gestione dei rifiuti in Sicilia e relativi costi di trasporto

Il costo (7.951 €/t·g) di trasporto per lo smaltimento dei rifiuti in discarica (**scenario 1**) è notevolmente inferiore rispetto agli altri scenari. Questo risultato, per quanto riguarda i costi di trasporto, è stato previsto poiché, dato l'elevato numero di siti di smaltimento, il costo diminuisce al diminuire della distanza media di trasferimento. Questo naturalmente non significa che è più conveniente lo smaltimento in discarica, in quanto le soluzioni ipotizzate negli altri scenari permettono il recupero di energia termica e la riduzione dei volumi abbancati in discarica, favorendo il minor consumo di terreno nelle zone urbane, ove costituisce un potenziale problema.

Gli **scenari 2 e 5** hanno un costo simile di trasporto (rispettivamente 14.289 €/t·g e 15.403 €/t·g), ma lo scenario 2 prevede la costruzione di quattro inceneritori, invece dei tre previsti nel quinto scenario.

La localizzazione dei tre inceneritori previsti nel quinto scenario è stato possibile grazie all'applicazione del modello di "Facility Location". A partire, infatti, da sette siti potenziali (previsti da vecchie ipotesi gestionali nella regione) è stato possibile ricavare i tre che ottimizzassero il flusso dei rifiuti, minimizzando il costo di trasporto (Figura 57).

Questo dimostra che il posizionamento corretto degli impianti e una loro più congrua capacità di ricezione permette di ottimizzare il sistema di gestione dei rifiuti.

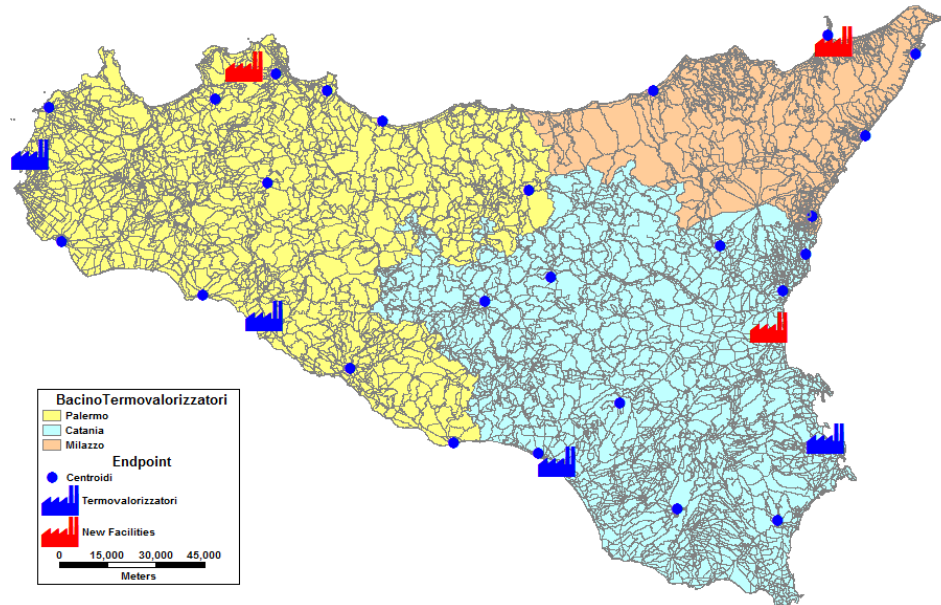


Figura 57: Siti potenziali e siti idonei (in rosso) per la realizzazione di tre termovalorizzatori in Sicilia

Lo **scenario 3** ha un alto costo del trasporto (21.521 €/t·g) in quanto prevede due fasi di trasporto:

- fase A: i rifiuti dai nodi di generazione vengono avviati agli impianti di trattamento meccanico- biologico (TMB);
- fase B: i rifiuti dagli impianti di produzione del CSS vengono avviati ai cementifici.

I costi relativi alle due fasi sono rispettivamente pari a 11.992 €/t·g e 9.529 €/t·g.

Per ridurre il costo di trasporto, questo scenario è stato aggiornato nello **scenario 4** (anch'esso suddiviso in due fasi, 4a e 4b), considerando di inviare una parte del CSS in tre gassificatori, dislocati a Palermo, Catania e Milazzo. Il costo complessivo di questo scenario è di 15.041 €/t·g.

7.3.2 Valutazione degli impatti sulla rete stradale siciliana

Per valutare quale tra gli scenari visti ha il minimo impatto sulla congestione stradale, è stato ricavato il numero di compattatori al giorno (Tabella 29) che attraversano tre sezioni della rete stradale siciliana (Figura 58):

- autostrada A19 in corrispondenza della tangenziale della città di Catania, notevolmente trafficata anche per la presenza dell'aeroporto Fontanarossa;
- autostrada A19 in corrispondenza della circonvallazione che attraversa la città di Palermo, capoluogo di regione e sede centrale di molti uffici;
- autostrada A18 in prossimità della città di Messina, molto trafficata per via dei collegamenti marittimi con la Calabria tramite traghetti.

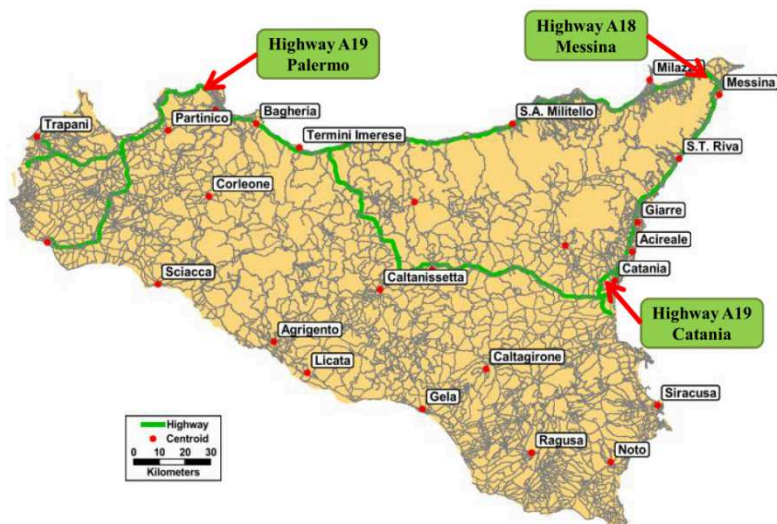


Figura 58: Sezioni della rete stradale siciliana prese in esame per la valutazione dell'impatto degli scenari

Tabella 29: Confronto tra il numero di compattatori/giorno dovuti al trasporto di rifiuti nelle tre sezioni critiche delle rete stradale siciliana

	Highway A19 Catania (truck/day)	Highway A19 Palermo (truck/day)	Highway A18 Messina (truck/day)	TOT
Scenario 1	17	34	12	63
Scenario 2	30	39	8	77
Scenario 3a+3b	35	56	21	112
Scenario 4a+4b	28	46	12	86
Scenario 5	47	45	11	103

Scenario 1

Tra i diversi scenari analizzati, lo scenario 1 presenta il minor numero di "compattatori al giorno" e quindi è il meno impattante sul traffico nei punti critici della rete stradale esaminata. Tuttavia, come più volte ricordato, non rispetta le linee guida nazionali ed europee, che individuano la discarica come tipologia di smaltimento da scegliere solo ed esclusivamente per quelle frazioni di rifiuto non riciclabili e/o recuperabili in alcun modo.

Scenario 2

Lo scenario 2 mostra un basso impatto sul flusso del traffico nelle tre sezioni critiche (77 compactatori/giorno). Optando per un recupero energetico dei RUR in termovalorizzatori potrebbe risultare più accettabile da parte dell'opinione pubblica lo scenario 5 (103 compactatori/giorno), grazie ad una distribuzione più equilibrata degli impianti (se ne dovrebbero realizzare tre invece di quattro) e conseguentemente dei flussi di rifiuti sul territorio.

Scenario 3

Lo scenario 3 ha il maggiore impatto sul flusso di traffico (112 compactatori/giorno), ma è, nel complesso, il più conveniente rispetto agli altri scenari, in quanto elimina il costo di costruzione di nuovi impianti sfruttando la capacità di assorbimento dei CSS da parte dei cementifici siciliani.

Scenario 4

Ipotizzando di inviare parte del CSS nei tre gassificatori, localizzati a Palermo, Catania e Milazzo, l'impatto sul flusso di traffico scende notevolmente fino ad un valore di 86 compactatori al giorno.

Scenario 5

I flussi di traffico dello scenario 5 sono moderatamente elevati (103 compactatori/giorno), ma, nel caso in cui non fosse possibile attuare quanto previsto dagli scenari 3 o 4, esso ha un impatto sul territorio tale da renderlo una soluzione ideale per la gestione dei rifiuti in Sicilia.

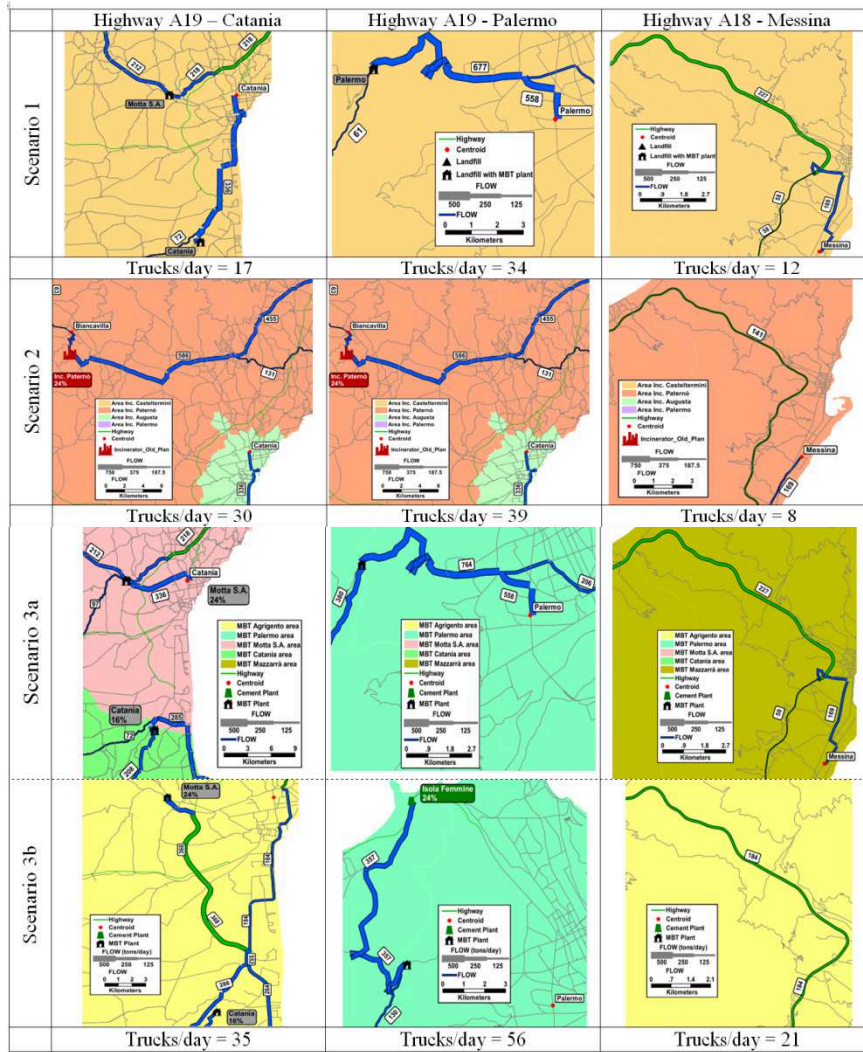


Figura 59: Esempi di flussi di rifiuti in corrispondenza delle tre sezioni stradali esaminate

7.3.3 Valutazioni degli impatti sull’ambiente

L’analisi dei flussi di traffico è stata utile per ottenere il quadro generale di aumento del traffico dovuto agli scenari proposti. Per valutare gli impatti sull’ambiente sono stati, invece, analizzati due dei cinque scenari visti finora tramite una procedura LCA con i metodi visti nel paragrafo 7.2.1. Gli scenari presi in esame sono il primo, il più attuale, il terzo, che si avvicina maggiormente alle linee guida del nuovo piano regionale siciliano.

Nelle Tabella 30, Tabella 31, Tabella 32 sono stati riportati tutti i percorsi presi in considerazione (centroide-impianto), riportando per ognuno degli stessi le caratteristiche ad esso associate al fine di poter identificare il peso dei diversi fattori all'interno della funzione costo di trasporto. Come si vede per ogni percorso sono stati associati: la distanza centroide impianto (km), il flusso di RSU (t) e numero di mezzi utilizzati ogni giorno.

Tabella 30: Scenario 1- Percorso dai centroidi alle discariche.

SCENARIO 1				
Centroide --> Discarica				
Nome località (Centroide)	Flusso RSU (t/giorno)	Numero mezzi utilizzati (20t)	Percorso Centroide - Discarica	Distanza Centroide Discarica (km solo andata)
Acireale	131	7	Acireale-Motta	21
Agrigento	139	7	Agrigento-Siculiana	20
Bagheria	119	6	Bagheria-Palermo	30
Biancavilla	212	11	Biancavilla-Motta	20
Caltagirone	72	4	Caltagirone-Catania	60
Caltanissetta	77	4	Caltanissetta-Gela	63
Catania	336	17	Catania-Catania	22
Corleone	61	3	Corleone-Partinico	37
Enna	97	5	Enna-Enna	6
Gangi	15	1	Gangi-Castellana Sicula	44
Gela	85	4	Gela-Gela	14
Giarre	87	4	Giarre-Motta	32
Licata	80	4	Licata-Siculiana	37
Mazzara Vallo	90	5	Mazzara Vallo-Campob. di Mazzara	16
Messina	169	8	Messina-Mazzarrà	52
Milazzo	141	7	Milazzo-Mazzarrà	19
Noto	64	3	Noto-Augusta	53
Palermo	558	28	Palermo-Palermo	12
Partinico	61	3	Partinico-Palermo (3)	17
	47	2	Partinico-Partinico (2)	4
Ragusa	208	10	Ragusa-Ragusa	12
S. T. Riva	63	3	S.T.Riva-Mazzarrà	92
S. A. Militello	58	3	S.A.Militello-Mazzarrà	59
Sciacca	61	3	Sciacca-Sciacca	10
Siracusa	221	11	Siracusa-Augusta	23
Termini Imerese	72	4	Term.Imerese-Castellana Sicula	65
Trapani	211	11	Trapani-Trapani	21

Tabella 31: Scenario 3 – fase A – Percorso dai centroidi agli impianti di TMB.

SCENARIO 3A - Centroide --> Imp. Trattamento Meccanico Biologico (TMB)				
Nome località (Centroide)	Flusso RSU (t/giorno)	Numero mezzi (20t)	Percorso Centroide - TMB	Distanza Centroide TMB (km solo andata)
Acireale	131	7	Acireale-Motta	21
Agrigento	139	7	Agrigento-Siculiana	20
Bagheria	119	6	Bagheria-Palermo	30
Biancavilla	212	11	Biancavilla-Motta	20
Caltagirone	72	4	Caltagirone-Catania	60
Caltanissetta	77	4	Caltanissetta - Siculiana	74
Catania	336	17	Catania - Motta	9
Corleone	61	3	Corleone - Palermo	59
Enna	97	5	Enna - Motta	74
Gangi	15	1	Ganci - Palermo	99
Gela	85	4	Gela - Siculiana	91
Giarre	87	4	Giarre-Motta	32
Licata	80	4	Licata-Siculiana	37
Mazzara Vallo	90	5	Mazzara del Vallo - Siculiana	81
Messina	169	8	Messina-Mazzarrà	52
Milazzo	141	7	Milazzo-Mazzarrà	19
Noto	64	3	Noto - Catania	74
Palermo	558	28	Palermo-Palermo	12
Partinico	108	5	Partinico-Palermo	17
Ragusa	208	10	Ragusa - Catania	74
S. T. Riva	63	3	S.T.Riva-Mazzarrà	92
S.A. Militello	58	3	S.A.Militello-Mazzarrà	59
Sciacca	61	3	Sciacca - Siculiana	44
Siracusa	221	11	Siracusa - Catania	44
Termini Imerese	72	4	Termini Imerese - Palermo	52
Trapani	211	11	Trapani - Palermo	78

Tabella 32: Scenario 3 – fase B – Percorso dagli impianti di TMB ai cementifici.

SCENARIO 3B Imp. Trattamento Meccanico Biologico (TMB) --> Cementificio				
Nome località (TMB)	Flusso CSS (t/giorno)	Numero mezzi (20t)	Percorso TMB - Cementificio	Distanza TMB - Cementificio (km solo andata)
Motta S.A.	368	18	Motta S.A. - Ragusa	97
Palermo	357	18	Palermo - Isola delle Femmine	15
	130	7	Palermo - Porto Empedocle	144
Siculiana	227	11	Siculiana - Porto Empedocle	10
Mazzarrà S.A.	184	9	Mazzarrà S.A. - Augusta	179
Catania	241	12	Catania - Modica	97

L'analisi sviluppata tramite la procedura SimaPro è relativa alla scelta di limitare lo studio e la corrispondente quantificazione degli impatti ambientali agli scenari di gestione dei rifiuti solidi urbani ipotizzati e precedentemente descritti.

L'EcoIndicator 99 suddivide gli impatti sull'ambiente in 11 categorie (cancerogenicità, effetti respiratori da inquinanti organici e inorganici, cambiamenti climatici, radiazioni, ozono stratosferico, ecotossicità, acidificazione/eutrofizzazione, uso del suolo, minerali, combustibili fossili), successivamente aggregate in tre macrocategorie principali: salute umana, qualità dell'ecosistema e consumo di risorse.

In tale metodo di valutazione degli impatti è stato utilizzato l'approccio gerarchico e i risultati dell'analisi sono espressi nei grafici in punti (Pt o MPt: millesimi di Pt) che è l'unità di misura che il software utilizza per attribuire un valore numerico all'impatto ambientale.

L'immissione dei dati all'interno del SimaPro, presi da riferimenti aziendali e in letteratura, all'interno della sezione "Processi" del software, ha permesso di assemblare i vari processi e ottenere una completa analisi dei dati nella loro totalità.

Lo sviluppo della procedura ha reso necessaria l'assunzione di alcune ipotesi di base, le quali sono di seguito elencate:

- è stata ipotizzata l'esistenza di impianti di recupero per le frazioni in uscita dalle unità di selezione e trattamento (carta, plastica, materiali ferrosi, materiali non ferrosi). Tali impianti, uno per ogni frazione merceologica che tratta il relativo flusso proveniente da tutte le unità di selezione, sono stati localizzati in una posizione baricentrica della regione Sicilia calcolando una distanza media tra impianti di selezione ed impianti di recupero pari a 100 km;
- per il trasporto dei materiali recuperabili dalle unità di selezione agli impianti di recupero sono stati utilizzati mezzi di trasporto di dimensioni ridotte (3.5 - 7 t) in funzione dei quantitativi da trasportare;
- i consumi per tonnellata di rifiuto trattato nell'unità di selezione e trattamento dei TMB sono stati ipotizzati pari a circa 0.051 kWh per il consumo dell'elettricità e a 0.01 MJ il consumo di combustibile;
- l'impianto di recupero della plastica ha i seguenti i consumi per tonnellata di rifiuto trattato dell'impianto di recupero della plastica sono stati ipotizzati pari: pari a circa 0.0381 kWh per il consumo dell'elettricità e a 0.65 MJ il consumo di combustibile;
- le unità "Cementifici" alimentati con CSS sono state modellate con impianti di incenerimento per rifiuti solidi urbani.

I dati di efficienza di recupero degli impianti sono stati desunti da letteratura e variano in funzione della tipologia di impianto:

- impianto recupero materiali ferrosi: 80%;
- impianto recupero materiali non ferrosi: 88.35%;
- impianto recupero carta e cartone: 85.5%;
- impianto recupero plastica: LDPE 34.2% - LLDPE 21% - PP 4.8%

I grafici seguenti riportano il risultato del calcolo per i scenari presi in considerazione.

Complessivamente si evidenzia che il consumo dei combustibili fossili è in assoluto l'impatto maggiore. Altri impatti significativi sono i danni causati alla respirazione da composti chimici inorganici e gli impatti sul cambiamento climatico.

Scenario 1

L'applicazione del metodo Eco-indicator99 (H) al primo scenario ha mostrato come i centri di produzione maggiormente impattanti siano, ovviamente (date le diversioni), quelli di Catania e Palermo. In particolare, in riferimento alle diverse componenti esaminate, il centroide di Catania determina un impatto di circa 7 MPt, mentre Palermo si attesta a circa 17MPt. Le componenti più influenti sugli impatti sono da collegare al trasporto su strada dei rifiuti dai centri di produzione agli impianti di smaltimento, in questo caso le discariche. Trattasi dei "combustibili fossili" e degli "inquinanti inorganici", i quali sono in netta prevalenza rispetto alle altre.

Gli impatti dovuti agli altri centri sono quasi trascurabili, eccetto quelli di Biancavilla, Messina, Ragusa, Siracusa e Trapani che si attestano a circa 1,5÷2 MPt.

I suddetti impatti sono direttamente proporzionali ai costi di trasporto, che a loro volta dipendono dai quantitativi di rifiuti da trasportare. Nel complesso l'impatto dovuto al trasporto su gomma è preponderante (90%) rispetto all'impatto dovuto all'utilizzo delle discariche (10%).

La Figura 60 mostra la caratterizzazione degli impatti generati dalla fase di trasporto dei rifiuti, dai centroidi di produzione alla discariche.

Scenario 3 - fase A

La fase A , che prevede il trasporto degli RSU recuperati da raccolta differenziata verso gli Impianti di Trattamento Meccanico Biologico, evidenzia (Figura 61), come nel caso dello scenario 1, un elevato impatto del trasporto dei rifiuti dal centroide di Palermo. L'impatto, anche se in misura minore rispetto a quello di Palermo, è notevole anche per i centri di produzione di Catania, Biancavilla, Ragusa, Siracusa, Trapani e Acireale (da 6 a 18 MPt). Anche in questo caso, le componenti maggiormente impattanti sono i "combustibili fossili" e gli "inquinanti inorganici".

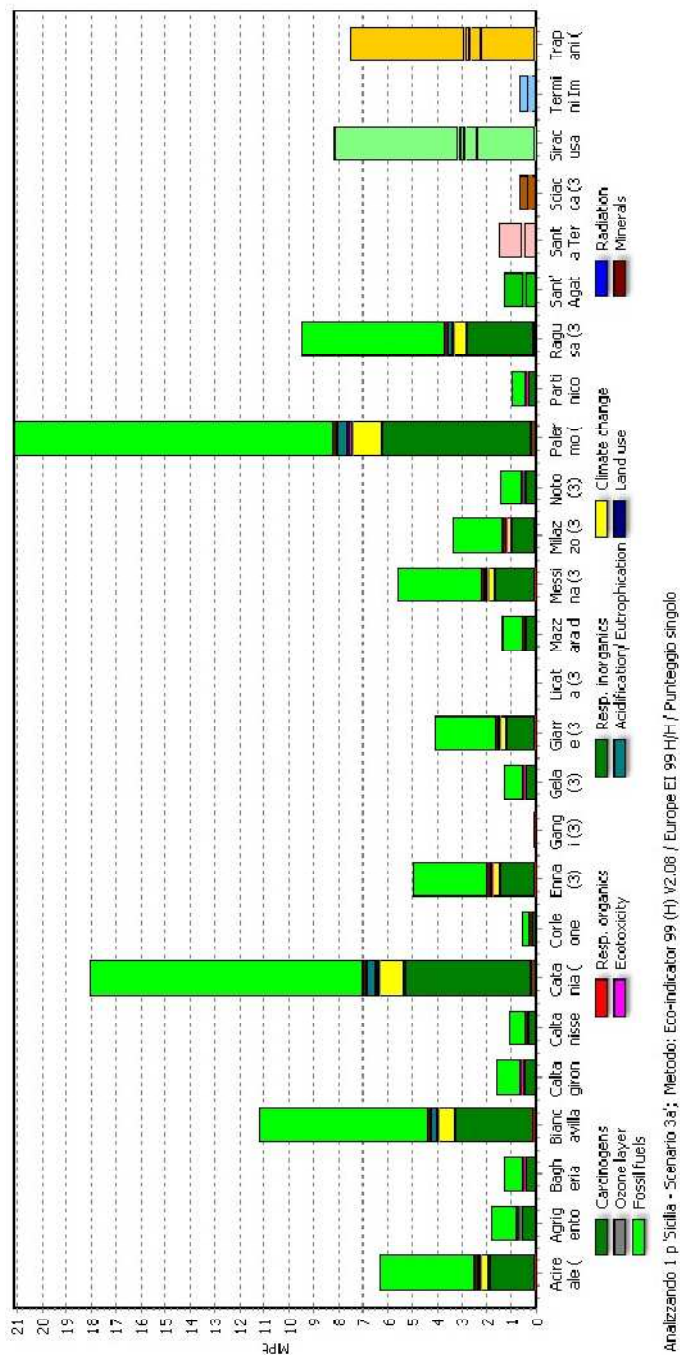


Figura 61: Scenario 3 – fase A- valori in Ecopunti per ciascun centroide.

Scenario 3 – fase B

La fase B riportata nella Figura 62, considera il trasporto del CSS dagli impianti di TMB ai cinque cementifici presenti in Sicilia (Modica, Ragusa, Augusta, Isola delle Femmine, Porto Empedocle).

L'analisi dei dati ottenuti evidenzia che il flusso che determina il maggiore impatto (17 MPt) è in uscita dall'impianto di Motta S. Anastasia, in esso infatti vengono trattati i RSU dei centroidi di tutta la Sicilia Nord Orientale.

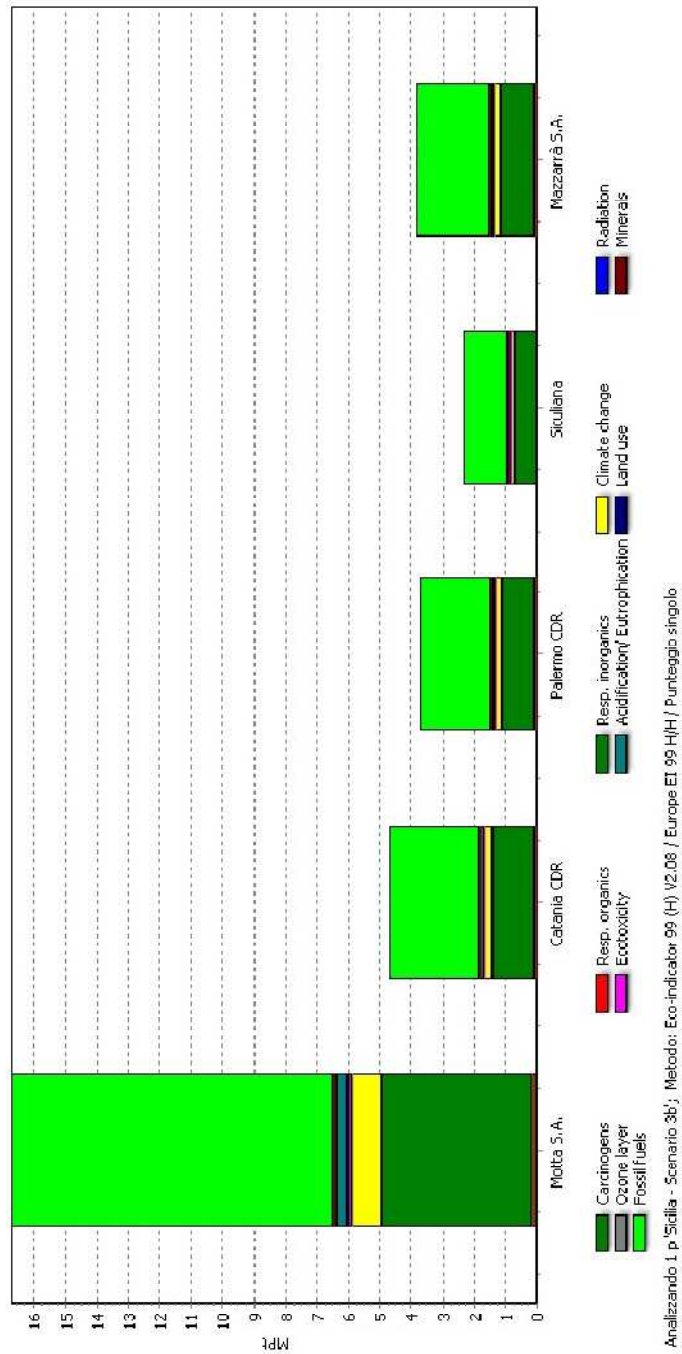


Figura 62: Scenario 2 – fase B - valori in Ecopunti per ciascun centroide.

Scenario 3 (fase A e B)

Di seguito nella Figura 63 vengono riportati le elaborazioni che riassumono le due fasi (A e B) che vanno a costituire il secondo scenario.

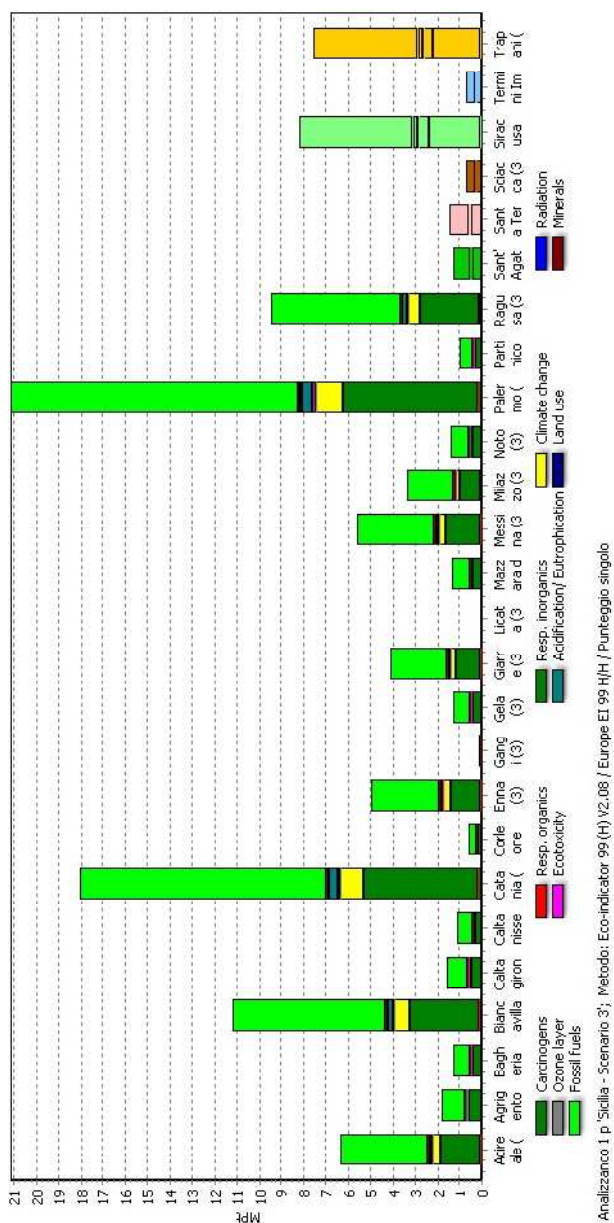


Figura 63: Scenario 2 - valori in Ecopunti per ciascun centroide.

Questo scenario contempla l'analisi d'impatto ambientale causato dal trasporto dei rifiuti dai centroidi di produzione all'impianto di trattamento meccanico – biologico e da quest'ultimi ai cementifici.

Il parametro univoco di valutazione dell'impatto, espresso in Eco punti, include anche l'effetto derivante dai processi di funzionamento degli impianti presi in considerazione. Il valore più elevato si registra per il consumo di combustibili fossili, dovuto fondamentalmente al trasporto e quindi all'utilizzo di idrocarburi necessari a movimentare gli automezzi, altri impatti ambientali significativi sono, in ordine decrescente di importanza sono i danni causati alla respirazione da composti chimici inorganici, gli impatti sul cambiamento climatico e l'acidificazione e eutrofizzazione degli ecosistemi.

Si può facilmente notare come la fase B (CSS da impianti di TMB verso i cementifici) sia maggiormente impattante rispetto alla fase A, in cui i rifiuti vengono trasportati dai centroidi di produzione agli impianti di TMB. Questo è dovuto al fatto che nella prima fase di trasporto (fase A) i punti di origine nella rete di trasporto sono maggiori rispetto a quelli della seconda fase (fase B). Questo può essere tradotto, oltre che da un minore impatto delle componenti esaminate, anche da un minore costo di trasporto tra la prima e la seconda fase. Nel complesso l'impatto dovuto al trasporto su gomma è preponderante per l'80% rispetto all'impatto dovuto alla combustione del CSS, il quale risulta pari al 20%. Si osserva che rispetto allo scenario 1 i quantitativi prodotti da ciascun centroide influiscono in misura minore sull'impatto complessivo.

CONFRONTO SCENARIO 1 – 3

Il confronto tra i due scenari evidenzia, con riferimento a tutte le categorie d'impatto, un ridotto impatto dello scenario 1 (circa 35 MPt) rispetto allo scenario 3 (circa 116 MPt).

Come già descritto precedentemente, le elaborazioni effettuate mostrano un forte impatto prevalentemente da parte di due delle 11 categorie prese in esame: “respirazione inorganica” e “combustibili fossili”. Una piccola percentuale di impatto, ma nettamente superiore rispetto ai restanti fattori di impatto, è caratterizzata dal “cambiamento climatico” pari a circa 2 MPt per lo scenario 1 e a 7 MPt per lo scenario 3. Questa è una tipica conseguenza del trasporto di merci (tra cui rientrano anche i rifiuti) su gomma che rappresenta la più diffusa modalità di trasporto in Italia.

Ad influenzare l'impatto ambientale dello scenario 3 è la selezione del materiale recuperabile (carta e cartoni, plastica, materiali ferrosi e non ferrosi), il quale seppur molto limitato in termini quantitativi, necessita di raggiungere i relativi impianti di riciclaggio comportando l'incremento delle distanze percorse. Infatti si nota che gli impatti dovuti al trasporto non sono in alcun modo bilanciati dai benefici derivanti dal recupero di materia. Ciò è anche dovuto all'importante distanza ipotizzata per il raggiungimento del centro di recupero (cartiere, industrie plastiche, acciaierie), per cui individuo la necessità di prevedere più impianti di recupero per tipologia di MPS, localizzati in prossimità dei due centri di produzione di rifiuti (almeno le grandi città: Palermo, Catania, Messina). La caratterizzazione effettuata per poter fare un confronto tra i due scenari esaminati (Figura 64 e Figura 65) è stata eseguita mantenendo come variabile fissa e impatto massimo (100%) lo scenario 3 e ponendo i possibili impatti dello scenario 1 come variabile incognita.

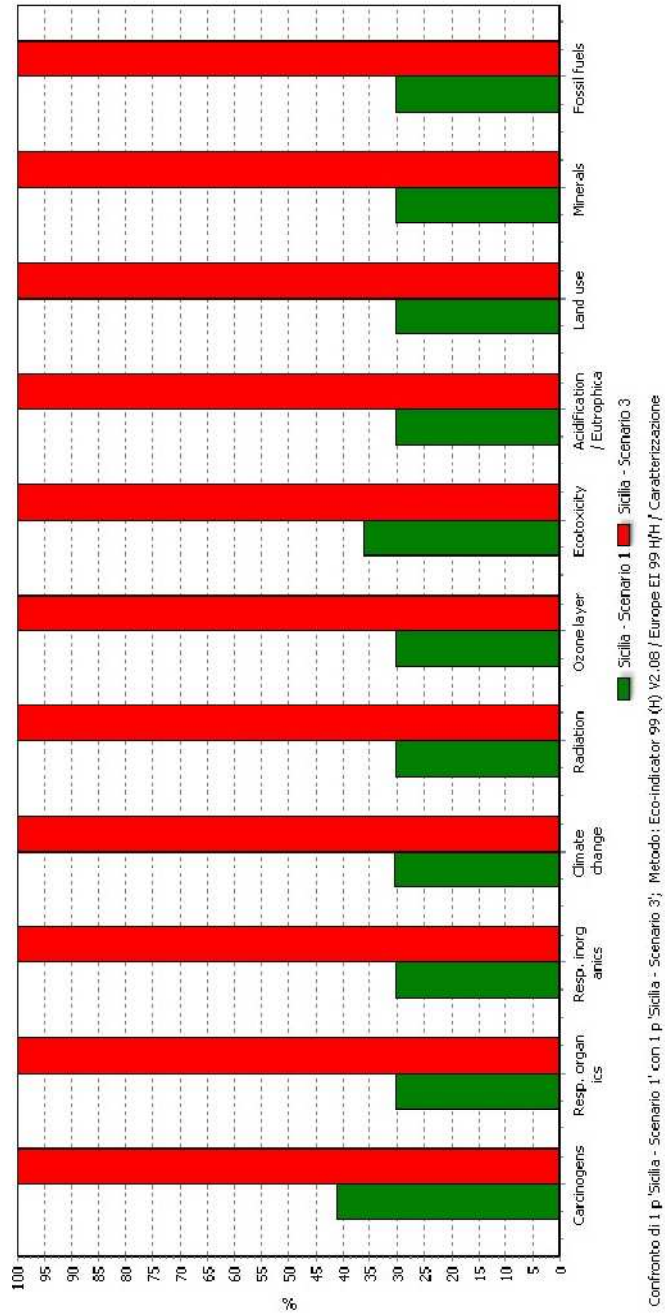


Figura 64: Confronto scenari di gestione- valori percentuali per ciascuna delle categorie di impatto.

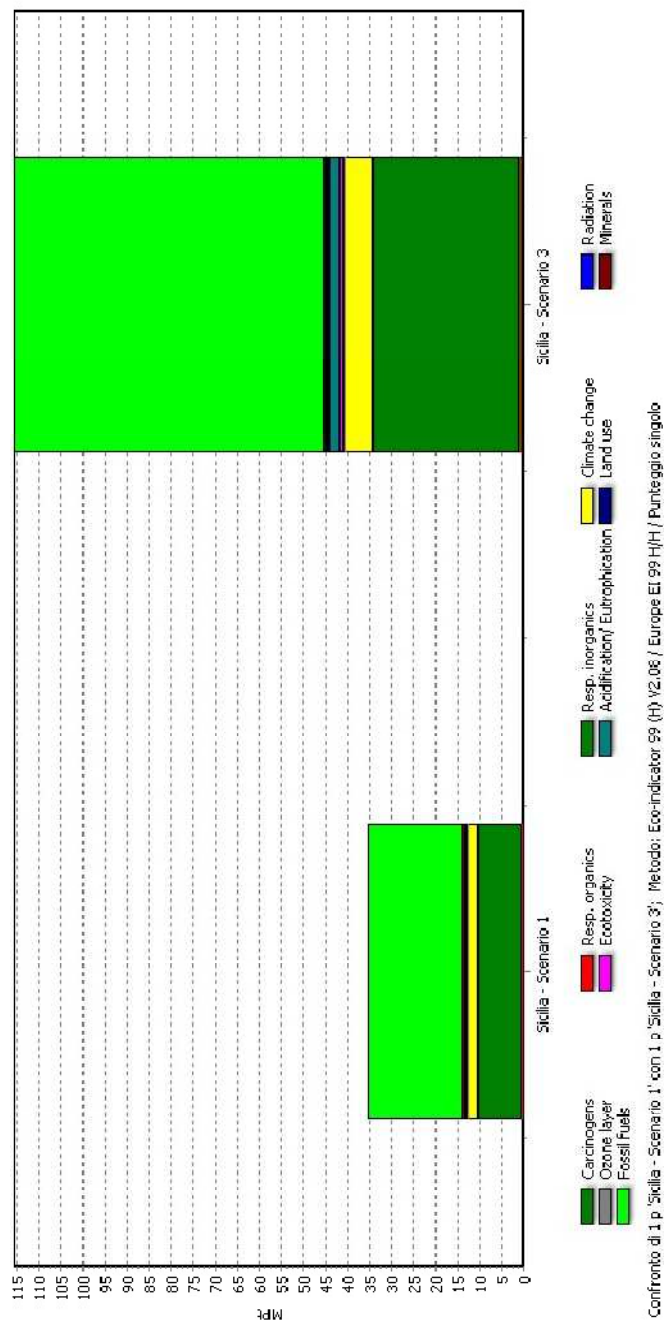


Figura 65: Confronto scenari di gestione- valori in Ecopunti per ciascuna delle categorie di impatto.

In questo modo si è potuto realmente confrontare i due scenari, mostrando le diverse percentuali di impatto dello scenario 1 rispetto allo scenario 3, le quali risultano pari a circa il 41% per l'impatto dovuto alla cancerogenicità, al 30% per le categorie d'impatto dovute rispettivamente a effetti respiratori da inquinanti organici e inorganici, cambiamenti climatici, radiazioni, ozono stratosferico, acidificazione / eutrofizzazione, uso del suolo, minerali, combustibili fossili, ed infine l'impatto dovuto all'ecotossicità si attesta ad un valore percentuale pari a 36.

L'analisi ambientale porterebbe a concludere che lo smaltimento in discarica sarebbe, paradossalmente, il migliore tra i due casi. L'opzione di riutilizzo di CSS come combustibile per i cementifici presenti in Sicilia è infatti del tutto compatibile con quanto previsto dalle direttive europee recepite in Italia e che vedono lo smaltimento in discarica come il processo da scegliere solo per quella piccola, ma purtroppo ineliminabile, frazione di rifiuti non riutilizzabile e/o materialmente ed energeticamente recuperabile.

Occorre però osservare, come questo risultato è maturato per effetto delle difficoltà dovute alla mancanza di dati specifici necessari ad introdurre nell'analisi, i vantaggi derivanti, in termini di mancato impatto, dal recupero di MPS (plastica, carta, metalli) e dal recupero di energia attraverso la combustione del CSS nei cementifici (mancato impatto della combustione del combustibile fossile), nonché del mancato impatto derivante dalla riduzione dei volumi da avviare in discarica (minore occupazione del suolo, e minore produzione di percolato e di biogas).

La seguente Tabella 33, infine, mostra la coerenza dell'analisi effettuata nel confronto tra i costi di trasporto dovuti al trasporto dei rifiuti per lo smaltimento in discarica (7.951 €) e quelli da sostenere nel caso di recupero di energia come CSS da utilizzare presso i cementifici siciliani (21.521 €) e gli impatti in termini di MPt delle categorie esaminate per i due scenari. Per queste ultime la differenza è infatti addirittura di un ordine di grandezza.

Tabella 33: Confronto Scenario 1-3 tra costi di trasporto e impatti calcolati col Ecoindicator99 e impatti calcolati col ReCipe 2008.

		Ecoindicator-99 (H)	ReCipe 2008
	Euro/d	MPt	MPt
1	7,951	3,50E+07	3,61E+07
2	21,521	1,20E+08	1,24E+08
	2,71	3,43	3,43

Per una verifica della correttezza e coerenza dei risultati, gli stessi dati utilizzati con il metodo Eco-indicator99 (H) sono stati elaborati anche con un altro metodo (ReCipe 2008), che ha sostanzialmente confermato la correttezza del procedimento effettuato.

8 CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato caratterizzato dallo sviluppo di una metodologia che potesse permettere di ottimizzare la gestione dei rifiuti solidi urbani. Tale obiettivo è stato perseguito a due diversi livelli territoriali, urbano e regionale, al fine di minimizzare il costo di trasporto dei rifiuti all'interno dei centri abitati e da questi agli impianti di trattamento/recupero/smaltimento finale.

Attraverso il presente lavoro è stato dimostrato come, l'integrazione dei sistemi di raccolta con supporti di *Information and Communication Technologies* (ICT) e l'impiego di attrezzature specifiche, si possono ridurre i costi di raccolta e trasporto della frazione organica dei rifiuti in ambito urbano. La metodologia proposta, applicata alle utenze commerciali, prevede la distribuzione e l'utilizzo di particolari contenitori aerati che permettono la riduzione della frequenza di raccolta, solitamente pari a tre giorni a settimana.

L'uso di ICT, per ovviare a criticità connesse al riempimento imprevisto o al malfunzionamento del contenitore, consente al gestore di offrire un servizio flessibile (*"on demand"*) a una domanda flessibile dovuta alla variabilità nella produzione giornaliera dei rifiuti, nonché alle problematiche legate alle caratteristiche del sistema così strutturato.

Confrontando due scenari ipotizzati, che rappresentano rispettivamente il caso statico (percorsi e frequenze di raccolta prefissati) e dinamico (percorsi e frequenze flessibili), è stato dimostrato come il sistema dinamico di raccolta dei rifiuti consente una significativa riduzione dei costi.

L'applicazione del modello di risoluzione del *Vehicle Routing Problem with Time Window* in ambiente GIS, che tiene conto degli orari di apertura e chiusura delle utenze commerciali, ha permesso di ottenere i percorsi di raccolta ottimizzati con una riduzione dei costi fino al 37% del costo dovuto in caso di raccolta con contenitori e frequenze standard. Il modello può essere proposto come strumento di supporto decisionale per la gestione dei rifiuti solidi in ambito urbano, al fine di ottimizzare la capacità di riempimento dei veicoli, riducendo i consumi di carburante e aumentando la produttività di uomini e mezzi.

L'ottimizzazione del sistema di raccolta dei rifiuti all'interno dei centri urbani deve essere necessariamente seguita da una corretta pianificazione e gestione del flusso degli stessi su scala territoriale regionale.

A tal proposito, questa fase dello studio è basata sullo sviluppo di cinque scenari di gestione dei rifiuti solidi urbani nella regione Sicilia, suddivisa in 26 macro-aree omogenee in termini di produzione di rifiuti:

- Scenario 1: rifiuti urbani residui (RUR) smaltiti esclusivamente in discarica
- Scenario 2: RUR smaltiti esclusivamente in inceneritori
- Scenario 3: RUR trattati in impianti di TMB e inviati a cementifici come CSS
- Scenario 4: RUR trattati in impianti di TMB e inviati a cementifici e gassificatori come CSS

- Scenario 5: RUR inviati a tre inceneritori

Dopo avere stimato i quantitativi di rifiuti prodotti nell'intero territorio esaminato, considerando rispettivamente "Grandi Centri", con basse percentuali di recupero di materia, e "Piccoli Centri", con alte percentuali di recupero, si sono ipotizzate diverse soluzioni di smaltimento/trattamento dei RUR.

Una volta riorganizzate tutte le informazioni necessarie è stato quantificato il costo di trasporto, costituito da vari fattori come: il costo del personale, il costo del carburante, il costo dei pneumatici, il costo della manutenzione ed il costo di possesso del mezzo.

Attraverso i modelli di risoluzione dei problemi di "*Minimum Cost Flow*" e "*Facility Location*" è stato possibile ottimizzare la distribuzione dei flussi dei rifiuti urbani residui, minimizzando il costo di trasporto dai centri di produzione agli impianti di destinazione finale.

Al fine di valutare l'impatto sul traffico stradale siciliano gli scenari proposti sono stati messi a confronto. In corrispondenza di tre sezioni della rete viaria, già congestionate in quanto in prossimità dei tre grossi centri urbani siciliani (Palermo, Catania e Messina), è stato ricavato il numero di "compattatori al giorno" che contribuiscono ad un rallentamento del flusso stradale.

L'applicazione di una procedura LCA, tramite SimaPro, ha permesso di valutare due dei cinque scenari al fine di stimare e valutare l'impatto sull'ambiente dovuto alla movimentazione degli automezzi utilizzati per il trasporto dei rifiuti dai luoghi di produzione agli impianti di trattamento e/o smaltimento. Per i due scenari ipotizzati, il primo (quello più rispondente allo stato attuale) e il terzo (quello più vicino alle linee guida del piano di gestione dei rifiuti approvato nel 2012), l'elaborazione dell'LCA ha permesso di stimare, per le undici categorie d'impatto, i valori ambientali impattanti espressi in eco-punti. Dall'analisi dei dati risulta che il valore più elevato si ha per la categoria impattante dovuta al consumo dei combustibili fossili e all'emissione di inquinanti inorganici.

I suddetti impatti causati dall'utilizzo di carburanti nella movimentazione dei mezzi di trasporto, sono ovviamente proporzionali ai costi di trasporto, i quali a loro volta dipendono dai quantitativi di rifiuti da trasportare nelle diverse tratte chilometriche.

Gli scenari analizzati non devono essere interpretati come soluzioni antagoniste, ma possono anche essere visti come soluzioni complementari, mediante la realizzazione della loro parziale combinazione in diverse zone dell'isola.

L'analisi attuale, essendosi concentrata nella valutazione dei costi derivanti dalla gestione dei rifiuti, non contempla le riduzioni degli impatti complessivi derivanti dal recupero delle MPS e del mancato smaltimento della frazione secca (CSS) in discarica (e della conseguente diminuzione dell'impatto in termini di produzione di biogas, di percolato, e in termini di uso del suolo e consumo di combustibile fossile). Nonostante ciò, la soluzione fornita dallo scenario 3, caratterizzata dall'opzione del riutilizzo di CSS come combustibile per i cementifici presenti in Sicilia, rappresenta una scelta maggiormente compatibile con quanto previsto dalle direttive europee recepite in Italia e sicuramente in linea con gli indirizzi delineati a livello europeo riguardo alla applicazione delle BAT.

Alla luce dei risultati emersi dallo studio, sia su scala territoriale urbana che su scala territoriale regionale, si può concludere che una corretta pianificazione dei sistemi di gestione dei rifiuti dovrebbe prevedere un'analisi dettagliata della fase di raccolta e trasporto dei rifiuti e prevedere la valutazione di possibili alternative per la diminuzione delle emissioni totali attraverso l'ottimizzazione dei trasporti.

A tale scopo l'integrazione di tecnologie telematiche innovative e l'utilizzo di modelli di ottimizzazione dei percorsi di raccolta nonché dei flussi dei rifiuti dai centri di produzione agli impianti di smaltimento, può essere determinante per il raggiungimento di un'efficiente gestione integrata dei rifiuti solidi urbani.

BIBLIOGRAFIA

- Alçada-Almeida L., Coutinho-Rodrigues J., Current J. (2009). A multiobjective modeling approach to locating incinerators. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43, 111–120.
- Angelelli E., Speranza M. G. (2002). The application of a vehicle routing model to a waste-collection problem: two case studies. *Journal of the Operational Research Society*, 53 (9), 944–952.
- Arebey M., Hannan M. A., Basri H., Begum R. A., Abdullah H. (2010). Integrated technologies for solid waste bin monitoring system. *Environ Monit Assess*, 177, 399–408.
- Baptista S., Oliveira R. C., Zuquete E. (2002). A period vehicle routing case study. *European Journal of Operational Research*, 139, 220–229.
- Bautista J., Fernández E, Pereira J. (2008). Solving an urban waste collection problem using ants heuristics. *Computers & Operations Research*, 35, 3020–3033.
- Chang N.B., Lin T.Y. (1997). Economic Evaluation of a Regionalization Program for Solid Waste Management in a Metropolitan Region. *Journal of Environmental Management*, 51, 241–274.
- European Commission (2010). Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries.
- Ghose M. K., Dikshit A. K., Sharma S. K. (2006). A GIS based transportation model for solid waste disposal - A case study on Asansol municipality. *Waste Management*, 26, 1287–1293.
- Goedkoop M. & Spriensma R. (2001). The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, third edition.
- Hannan M. A., Arebey M., Begum R. A., Basri H. (2011). Radio Frequency Identification (RFID) and communication technologies for solid waste bin and truck monitoring system. *Waste Management*, 31, 2406–2413.
- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2012). Rapporto Rifiuti Urbani 2012.
- Johansson O.M. (2005). The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. *Waste Management*, 26, 875–885.
- Kagawa S., Nakamura S., Inamura H., Yamadae M. (2007). Measuring spatial repercussion effects of regional waste management. *Resources, Conservation and Recycling* 51, 141–174.
- Karadimas N. V., Papatzelou K., Loumos V. G. (2007). Optimal solid waste collection routes identified by the ant colony system algorithm. *Waste Management & Research*, 25, 139–147.
- Kim B. I., Kim S., Sahoo S. (2006). Waste collection vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 33, 3624–3642.

- Kim J. D., Choi H. S., Lee D. H. (2007). Vehicle Routing in a Refuse Collection System: a Case Study. *Fifth International Conference on Computational Science and Applications*.
- L. Rigamonti, M. Grossi, M. Giugliano, *Valutazione con analisi LCA di sistemi integrati di gestione dei rifiuti, DIIAR – Sezione Ambientale*.
- Leao S., Bishop I., Evans D. (2001). Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modelling in a GIS environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 33, 289–313.
- Leao S., Bishop I., Evans D. (2004). Spatial–temporal model for demand and allocation of waste landfills in growing urban regions. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28, 353–385.
- Lopez Alvarez J.V., Aguilar Larrucea M., Fernandez-Carrion Quero S., Jimenez del Valle A. (2008). Optimizing the collection of used paper from small businesses through GIS techniques: The Legane’s case (Madrid, Spain). *Waste Management*, 28, 282–293.
- López M., Soliva M., Martínez-Farré F.X., Fernández M., Huerta-Pujol O. (2010). Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 222–228.
- McLeod F., Cherrett T. (2007). Quantifying the transport impacts of domestic waste collection strategies. *Transportation Research Group, School of Civil Engineering and the Environment, University of Southampton, UK*.
- Ministero dei Trasporti e della Navigazione Servizio di Pianificazione e Programmazione (1999). I Quaderni del Piano Generale dei Trasporti.
- Nuurito T., Kytöjoki J., Niska H., Braysy O. (2006). Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. *Expert Systems with Applications*, 223–232.
- Patania F., Gagliano A., Nocera F. (2003) Air pollution and urban plane of road traffic: Experimental research about situations of environmental health hazard. *Ninth International Conference on Urban Transport and the Environment for the 21st Century, Urban Transport IX; Crete*, 14, 253-262.
- Pelms, Billy P., Clark, Robert M. (1971). Location model for solid waste management. *Journal of Urban Planning and Development* 102, 1–29.
- Rovetta A., Xiumin F., Vicentini F., Minghua Z., Giusti A., Qichang H. (2009). Early detection and evaluation of waste through sensorized containers for a collection monitoring application. *Waste Management*, 29, 2939–2949.
- Scuola Agraria del Parco di Monza, (2006), *Analisi delle performance di sacchi in carta riciclata, Mater-Bi e polietilene per il conferimento dell’umido domestico – Report*.
- SimaPro 7.3.3, *Introduction to LCA with SimaPro, 2009*.
- TransCAD 5.0 User’s Guide, *Rooting and Logistics whit TransCAD, Travel Demand Modelling*.

- U. Arena*, M.L. Mastellone, F. Perugini, *The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study*, Chemical Engineering Journal 2003.
- UNI EN ISO 14040, *Gestione Ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Principi e quadro di riferimento*, 1998.
- UNI EN ISO 14041, *Gestione Ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Definizione dell'obiettivo e del capo di applicazione e analisi dell'inventario*. 1999.
- UNI EN ISO 14042, *Gestione Ambientale, Valutazione del ciclo di vita, Valutazione dell'impatto del ciclo di vita*, 2001.

SITOGRAFIA

www.ambientediritto.it
www.dirittoambiente.net
www.energia24club.it/articoli
www.ermesambiente.it/autorid
www.federambiente.it
www.lasicilia.it
www.minaambiente.it
www.monzaflora.net
www.nomismaenergia.it
www.osservatorionazionale rifiuti.it
www.regione.sicilia.it
www.reteambiente.it
www.rifiutilab.it
www.rifiutinforma.it