

ANALISI EMERGETICA DEL SISTEMA DI GESTIONE DEI RIFIUTI NELLA PROVINCIA DI CAGLIARI¹

Enzo Tiezzi², Nadia Marchettini²

1. Introduzione

I dati statistici raccolti nel corso degli anni testimoniano una condizione ambientale compromessa dai serrati ritmi di produzione e consumo del mondo occidentale e non più trascurabile. Ad oggi la produzione dei rifiuti è di gran lunga superiore rispetto alla capacità di assorbimento dell'ambiente circostante. Gli effetti di accumulo incominciano ad essere evidenti e le conseguenze che ne derivano (ad esempio le interazioni dannose con l'ambiente circostante e le sue popolazioni) impongono delle politiche di scelta chiare e impellenti.

Smaltire in maniera più efficiente (economicamente ed energeticamente) e meno impattante questa enorme massa di rifiuti significa gestire questa risorsa nell'ottica e nel rispetto dei principi di Herman Daly e dello sviluppo sostenibile.

In ambito termodinamico il rifiuto viene definito come scarto entropico; tuttavia la termodinamica insegna che l'ultimo stadio di degrado dell'energia è la forma calore e che la consistenza materica ed energetica del rifiuto, e dei rifiuti solidi in particolare, costituisce di fatto ancora una risorsa che può e deve essere sfruttata. Il compito della programmazione e pianificazione in questo settore svolto dalle amministrazioni consiste nella selezione delle procedure e dei trattamenti più efficaci ed opportuni (non troppo dispendiosi in termini di investimento di ulteriori capitali naturali) mirati alla valorizzazione di tale risorsa.

Questo studio è uno strumento per la verifica delle attività avviate dal Piano e dello stato di salute del sistema di gestione dei rifiuti in un'ottica di sostenibilità.

Incentivare la ricerca nel campo della sostenibilità ambientale e delle tecniche per il controllo e il governo del territorio è il presupposto per avviare una nuova politica ambientale consapevole ed efficace in grado di promuovere e garantire la conservazione del capitale naturale della Sardegna.

-
- 1) Il lavoro è stato commissionato dalla Provincia di Cagliari, Assessorato Tutela Ambientale Settore Ambiente Ecologia. Responsabili del progetto: Arch. Riccardo M. Pulselli, Dr. Valeria Picci.
 - 2) Direzione e coordinamento scientifico: Enzo Tiezzi, Prof. Ordinario di Chimica Fisica; Nadia Marchettini, Prof. Straordinario di Chimica Fisica. Università degli Studi di Siena - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi. Fanno parte del gruppo di lavoro dell'Università di Siena: Dr. Angelo Facchini, Dr. Laura Fugaro, Dr. Fabiana Mapelli, Dr. Valentina Niccolucci, Dr. Ilaria Principi, Dr. Federico M. Pulselli, Dr. Roberto Ridolfi, Arch. Marco Rosini, Dr. Ludovico Susani.

Il Piano provinciale di gestione dei rifiuti della Provincia di Cagliari, datato giugno 2001, facendosi carico degli indirizzi forniti dalla normativa nazionale (D.Lgs.22/97 e successive modifiche) e dal Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti del 1998, è ispirato ad obiettivi di massimizzazione dell'efficienza del sistema di raccolta, gestione e smaltimento dei rifiuti.

In particolare i principali obiettivi espressi dal piano e di maggiore rilievo per questo studio specifico sono:

- Riduzione della produzione dei rifiuti destinati allo smaltimento.
- Recupero di materia attraverso il potenziamento e la razionalizzazione delle raccolte differenziate.
- Recupero dell'energia contenuta nella frazione combustibile dei rifiuti tramite termovalorizzazione a impatto ambientale minimo.
- Tutela dell'ambiente con l'adozione di tecnologie di smaltimento finalizzate all'inertizzazione dei rifiuti riconducendo la discarica come terminale del processo di smaltimento stesso.

Le linee guida dell'intervento sul territorio sono quindi riassumibili in pochi punti essenziali:

- una organizzazione ottimale dei servizi di raccolta differenziata che, preso atto del ritardo strutturale rispetto alle direttive del decreto Ronchi, pone come obiettivo imprescindibile il raggiungimento del 35% di raccolta differenziata entro il marzo 2003;
- un dimensionamento degli impianti di trattamento e smaltimento articolato per singoli sub-ambiti allo scopo di estendere ad essi il principio di autosufficienza in ogni modo essenziale a livello provinciale, predisponendo recettori idonei per il recupero dei materiali differenziati;
- una verifica della sostenibilità economica del nuovo sistema di gestione dei rifiuti.

Rispetto agli strumenti di pianificazione del settore, ben redatti ed in fase di attuazione a livello regionale e provinciale, questa ricerca intende porsi come strumento per la verifica delle attività avviate dal piano e di supporto alle decisioni future in un'ottica di sostenibilità nel lungo periodo, ambientale in primo luogo ma anche economica e sociale.

2. Lo stato del sistema di gestione rifiuti della provincia di Cagliari

Di seguito si riporta l'Analisi quanti-qualitativa della gestione dei rifiuti nell'Ambito Territoriale Omogeneo della Provincia di Cagliari sulla base dei dati statistici raccolti in serie storiche e aggiornate rispetto al Piano Provinciale di Gestione dei Rifiuti.

Tabella 1 – Produzione di Rifiuti nella Provincia di Cagliari. Serie storica³.

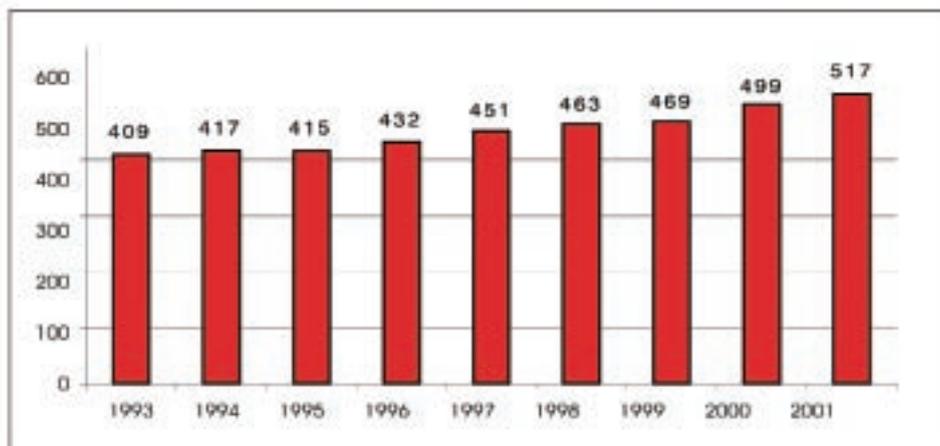
ANNO	Area (Kmq.)	Popolazione (abitanti)	Densità (ab./kmq.)	Rifiuti prod. (ton)	pro-capite (kg/ab./a)	pro-capite (kg/ab./gg)	pro-capite abitanti	Variazioni rifiuti	Variazioni pro capite
1993	6.895	767.617	111	314.302	409	1,12			
1994	6.895	769.321	112	320.946	417	1,14	0,22%	2,07%	1,85%
1995	6.895	769.993	112	319.753	415	1,14	0,09%	-0,37%	-0,46%
1996	6.895	771.722	112	333.354	432	1,18	0,22%	4,08%	3,86%
1997	6.895	770.101	112	347.585	451	1,24	-0,21%	4,09%	4,30%
1998	6.895	767.169	111	355.398	463	1,27	-0,38%	2,20%	2,57%
1999	6.895	766.066	111	358.922	469	1,28	-0,14%	0,98%	1,12%
2000	6.895	764.253	111	381.006	499	1,37	-0,24%	5,80%	6,02%
2001	6.895	759.815	110	392.760	517	1,42	-0,58%	2,99%	3,56%

Nell'anno 2001 la produzione di rifiuti urbani nella Provincia di Cagliari ammonta a 392.760 tonnellate con un aumento del 9,77% rispetto alla produzione 1998, ultimo anno di riferimento utilizzato dal Piano Provinciale di Gestione dei Rifiuti (PPGR). L'aumento della produzione non può essere attribuito a fattori demografici ma al trend di consumo innescato nella Provincia, e in maniera generalizzata nei paesi occidentali, e di stampo chiaramente socio-economico.

Ogni cittadino della Provincia ha prodotto in media 517 kg di rifiuti nell'anno 2001 corrispondente a poco meno di 1 kg e mezzo al giorno.

La produzione pro-capite di rifiuti è aumentata più velocemente rispetto alla produzione assoluta di RSU ed in particolare i dati confermano un aumento, al 2001, del 22,82% rispetto al 1993 e del 10,70% rispetto al 1998.

Figura 1 – Trend della produzione dei rifiuti pro-capite nella Provincia di Cagliari.



3) Fonte: Regione Sardegna, (2001) "Rapporto sulla Gestione RU in Sardegna", ed elaborazione degli autori dal Piano Provinciale di Gestione dei Rifiuti.

Una percentuale di rifiuti indifferenziati pari al 68% viene conferita tal quale in discarica. Una massa equivalente al restante 32% viene recepita dall'impianto Tecnocasic e avviata all'incenerimento. Solo il 2,58% della produzione totale di RSU è destinata al recupero e al riciclo attraverso la raccolta differenziata delle varie frazioni merceologiche, in particolare della frazione del vetro e della carta.

Il sistema impiantistico integrato della Provincia di Cagliari è attualmente dotato delle seguenti unità:

- Impianto di selezione, termodistruzione e stoccaggio di Macchiareddu;
- discarica controllata di Carbonia;
- discarica controllata di Perdiana;
- discarica controllata di Villacidro;
- discarica controllata di Villasimius;

Tabella 2 – Destinazione dei Rifiuti nella Provincia di Cagliari⁴.

Impianti 2001	INDIFFERENZIATI	ASSIMILABILI	SCARTI	FANGHI	TOTALI
Discarica di Villacidro	62.216,39	850,02	6.464,44	73,28	69.604,13
Discarica di Carbonia	67.023,96	5.312,36	25.741,40	2.452,53	100.530,25
Discarica di Sordiana	101.390,09	5.026,81	23.506,15	1.404,13	131.327,18
Discarica di Villasimius	15.683,73	0,00	0,00	0,00	15.683,73
Inceneritore Casic	136.317,10	4.155,88	0,00	5.531,66	146.004,64
TOTALI	382.631,27	15.345,07	55.711,99	9.461,60	463.149,93

2.1. Lo stato della raccolta differenziata

La raccolta differenziata (R.D.), secondo il paradigma introdotto dal Decreto Ronchi e tutte le sue successive modifiche, dovrebbe costituire la fase centrale del sistema di gestione dei rifiuti. Il recupero e la valorizzazione degli scarti sottoforma di materia devono essere prioritari ed in questo contesto la R.D. rappresenta la forma di selezione per raggiungere tale risultato, in quanto genera flussi con la massima qualificazione merceologica. Ai sensi dell'art. 23 D.Lgs. 22/97 è fissato il raggiungimento dei seguenti obiettivi minimi di raccolta differenziata rispetto ai rifiuti prodotti:

- 15% entro il marzo 1999;
- 25% entro il marzo 2001;
- 35% entro il marzo 2003.

La media provinciale di raccolta differenziata pro-capite si assesta intorno ai 13,33 Kg/ab. nell'anno 2001.

4) Fonte: Regione Sardegna, (2001), "Rapporto sulla Gestione RU in Sardegna"

Figura 2 – Andamento della Raccolta Differenziata nella Provincia di Cagliari per il periodo 1998-2001 rispetto agli obiettivi del D. Lgs. 22/97.

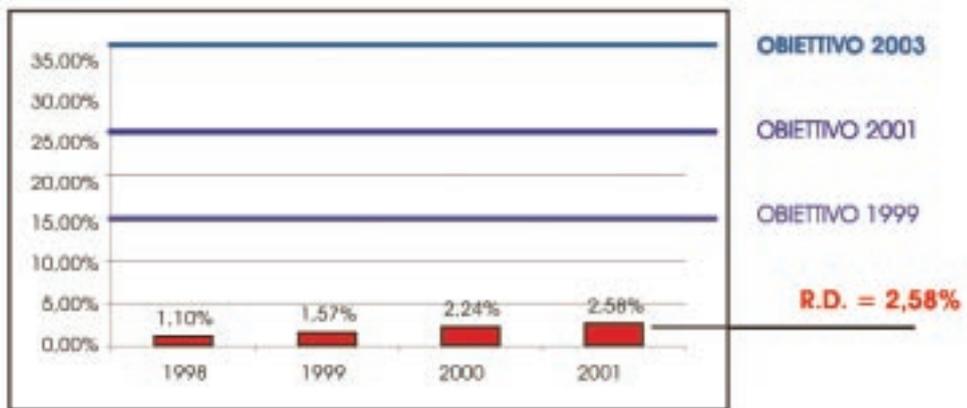
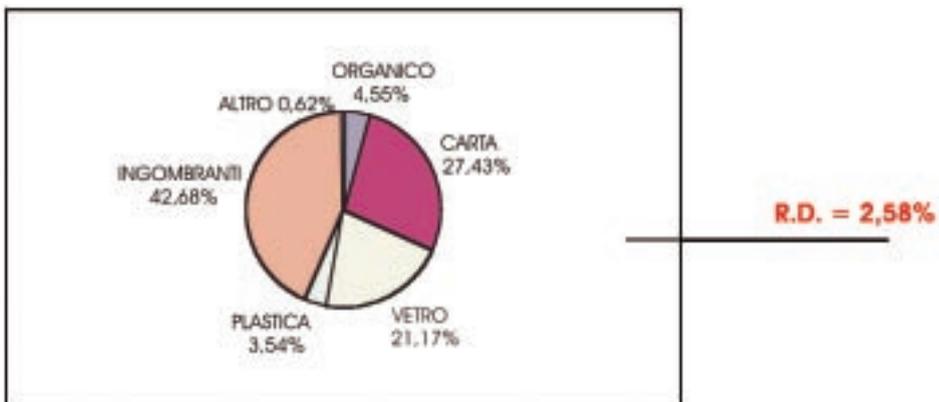


Tabella -- 3 Produzione dei rifiuti differenziati nella Provincia di Cagliari. Serie storica⁵.

ANNO	Organico	Vetro	Carta	Plastica	Alluminio	Altro	RD totale	indifferenziata	differenziata
1998	0	1645	1262	120	8	1012	4.047	351.351	1,10%
1999	574	1596	1107	186	41	2122	5.626	353.296	1,57%
2000	624	2033	2018	217	1	3630	8.523	372.484	2,24%
2001	461	2144	2779	359	0	4385	10.129	382.631	2,58%

Figura 3 – Raccolta Differenziata nella Provincia di Cagliari nel 2001. Composizione merceologica e relative percentuali.



5) Ibidem.

2.2. Sub-ambiti per la gestione

La filosofia del PPGR, in estrema sintesi, è caratterizzata da un'impiantistica diffusa e una razionalizzazione del sistema. Il Piano Provinciale, recependo le indicazioni già fornite dal Piano Regionale, articola l'A.T.O. (Ambito Territoriale Ottimale) della Provincia di Cagliari in quattro sub-ambiti di smaltimento/recupero. La delimitazione dei sub-ambiti è stata correttamente adottata dal Piano sulla base di una serie di elementi riguardanti aspetti di organizzazione esistente a livello impiantistico, viabilità e distanze, condizioni insediative, modalità di produzione dei rifiuti (presenza di poli turistici) ed in base alla delimitazione prevista delle nuove province.

2.2.1. Sub-ambito A1: Cagliari

Ospita una popolazione di 470.107 ab. La produzione complessiva di rifiuti per l'anno 2001 è stata di 251.630 ton, che corrispondono al 64% del totale provinciale. La raccolta differenziata si assesta intorno al 2,47%.

2.2.2. Sub-ambito A2: Sulcis Iglesiente

Ospita una popolazione di 142.003 ab. La produzione complessiva di rifiuti per l'anno 2001 è stata di 68.088 ton, che corrispondono al 17% del totale provinciale. La raccolta differenziata si assesta intorno al 1,56%.

2.2.3. Sub-ambito A3: Medio Campidano

Ospita una popolazione di 127.152 ab. La produzione complessiva di rifiuti per l'anno 2001 è stata di 57.243 ton, che corrispondono al 14% del totale provinciale. La raccolta differenziata si assesta intorno al 3,64%.

2.2.4. Sub-ambito A4: Sarrabus Gerrei (fascia costiera orientale)

Ospita una popolazione di 20.553 ab. La produzione complessiva di rifiuti per l'anno 2001 è stata di 15.799 ton, che corrispondono al 4% del totale provinciale. La raccolta differenziata si assesta intorno al 4,81%.

Tabella 4 – Produzione di rifiuti nei sub-ambiti della Provincia di Cagliari. Serie storica⁶.

ANNO	Produzione sub-ambito A1	Produzione sub-ambito A2	Produzione sub-ambito A3	Produzione sub-ambito A4	Produzione AMBITO A
1997	223.563	60.259	51.036	12.727	347.585
1998	227.573	62.124	52.338	13.362	355.398
1999	227.291	63.994	53.369	14.268	358.922
2000	245.127	66.142	54.400	15.336	381.006
2001	251.630	68.088	57.243	15.799	392.760

6) Ibidem.

Figura 4 – I quattro bacini o sub-ambiti di smaltimento/recupero dell’A.T.O. Provincia di Cagliari.



Tabella 5 – Produzione di rifiuti differenziati nei sub-ambiti della Provincia di Cagliari.

Anno 2001	Popolazione	Produzione indifferenziata	Produzione differenziata	Produzione totale	Percentuale differenziata	Variazioni 1998-2001
sub-ambito A1	470.107	249.412	6.219	251.630	2,47%	9,56%
sub-ambito A2	142.003	67.024	1.064	68.088	1,56%	8,76%
sub-ambito A3	127.152	55.157	2.085	57.243	3,64%	8,57%
sub-ambito A4	20.553	15.038	760	15.799	4,81%	15,42%
AMBITO A	759.815	382.631	10.129	392.760	2,58%	9,51%

3. Analisi emergetica del sistema di gestione dei rifiuti

L'applicazione della metodologia emergetica all'analisi del sistema di gestione dei rifiuti solidi della Provincia di Cagliari ha lo scopo di valutare quantitativamente e qualitativamente, in primo luogo, le dimensioni del sistema oggetto di studio e ricavare una stima del consumo di risorse e del peso che questo settore esercita sul complesso sistema territoriale; in secondo luogo, le caratteristiche e le eventuali criticità espresse dall'insieme delle strutture per la raccolta, gestione e smaltimento dei rifiuti.

La metodologia emergetica si basa sulla ricerca di tutti gli input che alimentano un sistema territoriale con una propria popolazione, uno standard di vita e un livello di benessere diffuso e sul confronto delle varie categorie di risorse espresse in *Solar Emery Joule (sej)*.

Il risultato che si ottiene è un bilancio complessivo che esprime il comportamento d'insieme del sistema. In termodinamica, il concetto di rifiuto, può essere descritto ricorrendo a poche essenziali considerazioni tratte dall'osservazione diretta del comportamento dei sistemi viventi, aperti e lontani dall'equilibrio.

I sistemi territoriali appartengono alla stessa categoria.

Sono porzioni di territorio definite arbitrariamente e difficilmente scindibili dal contesto territoriale vasto di cui sono parte integrante. Devono essere pertanto concepiti come sistemi aperti cioè sistemi che scambiano materia, energia e informazione con l'esterno.

La teoria delle strutture dissipative descritta da Ilya Prigogine, padre della termodinamica del non equilibrio e premio Nobel per la Chimica nel 1977, fornisce altre valide indicazioni sul comportamento degli stessi sistemi, affermando che un sistema consuma ed assimila risorse in forma di energie di qualità attingendo da fonti esterne e provvedendo così a strutturarsi ed organizzarsi; e che, nello stesso tempo, si libera dell'energia degradata (entropia) a discapito dell'ambiente circostante.

Si è data pertanto, in qualche modo, una definizione del concetto di entropia come energia persa e non più utilizzabile. Si afferma inoltre che, sulla base del secondo principio della termodinamica, ogni sistema, per sopravvivere, produce scarti in forma di rifiuti, inquinanti e quindi, in generale, di entropia.

Alla luce di quanto detto, la teoria della sostenibilità può essere espressa semplicemente dicendo che lo sviluppo deve orientarsi verso consumi di qualità sempre più elevata (cioè ridotti quantitativamente ma più efficienti) e verso una riduzione sostanziale delle emissioni.

3.1 La valutazione del “capitale naturale” per una “economia ecologica”

Le leggi fondamentali della sostenibilità globale sono state definite da Herman Daly, uno dei padri dello sviluppo sostenibile e dell'*Ecological Economics*, due teorie che ci pongono davanti ad un nuovo paradigma, rivoluzionando le visioni dell'economia classica e neoclassica (basate sui due parametri del lavoro e del capitale) e riconoscendo l'esistenza di tre parametri fondamentali: il lavoro, il capitale prodotto dall'uomo e il capitale naturale.

Attraverso la determinazione dei flussi di “*emergia*” che investono il settore della gestione dei rifiuti, questo studio vuole porsi come strumento aggiunto di supporto alle decisioni di piano, o di valutazione delle priorità operative, in questa nuova ottica di sostenibilità e economia ecologica.

Il calcolo dei valori energetici degli RSU, rispetto alle analisi tradizionali che confrontano quantità e costi del sistema, ha lo scopo di introdurre il “capitale naturale” tra i parametri di selezione delle decisioni.

Soprattutto permette di:

- Dare una misura (in: *sej*) del costo ambientale dei materiali raccolti (una stima del *capitale naturale* impiegato).
- Promuovere una nuova consapevolezza, cioè che il materiale-scarto è una risorsa (con un costo ambientale) non ancora esaurita e che non deve essere sprecata.

- Formalizzare, su rigorose basi scientifiche, l'opportunità di riattivare, attraverso la gestione integrata, buona parte di quei flussi emergentici.
- Proporre una graduatoria dei trattamenti possibili rispetto alla massima efficienza.
- Suggestire all'amministrazione nuovi indirizzi per una gestione sostenibile che siano di supporto per i tempi e i programmi d'azione nel settore.

Tabella 6 – Produzione di rifiuti indifferenziati nell'ambito A e nei sub-ambiti per categoria merceologica.

Categorie merceologiche	Indifferenziata sub-ambito A1	Indifferenziata sub-ambito A2	Indifferenziata sub-ambito A3	Indifferenziata sub-ambito A4	Indifferenziata AMBITO A
ANNO 2001	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)
TOTALE	2,45E+05	6,70E+04	5,52E+04	1,50E+04	3,83E+05
ORGANICO (39%)	9,57E+04	2,61E+04	2,15E+04	5,86E+03	1,49E+05
CARTA (31%)	7,61E+04	2,08E+04	1,71E+04	4,66E+03	1,19E+05
VETRO (8%)	1,96E+04	5,36E+03	4,41E+03	1,20E+03	3,06E+04
PLASTICA (10%)	2,45E+04	6,70E+03	5,52E+03	1,50E+03	3,83E+04
ALLUMINIO (4%)	9,82E+03	2,68E+03	2,21E+03	6,02E+02	1,53E+04
ALTRO (8%)	1,96E+04	5,36E+03	4,41E+03	1,20E+03	3,06E+04

Tabella 7 – Produzione di rifiuti differenziati nell'ambito A e nei sub-ambiti per categoria merceologica.

Categorie merceologiche	Differenziata sub-ambito A1	Differenziata sub-ambito A2	Differenziata sub-ambito A3	Differenziata sub-ambito A4	Differenziata AMBITO A
ANNO 2001	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)
TOTALE	6,22E+03	1,06E+03	2,09E+03	7,60E+02	1,01E+04
ORGANICO	4,21E+01	0,00E+00	0,00E+00	4,19E+02	4,61E+02
CARTA	2,15E+03	1,60E+02	4,47E+02	2,07E+01	2,78E+03
VETRO	1,25E+03	2,21E+02	5,96E+02	7,83E+01	2,14E+03
PLASTICA	1,56E+02	3,75E+01	1,50E+02	1,57E+01	3,59E+02
ALLUMINIO	0,00E+00	0,00E+00	3,09E-01	0,00E+00	3,09E-01
INGOMBRANTI	2,57E+03	6,43E+02	8,89E+02	2,25E+02	4,32E+03
ALTRO	5,53E+01	2,52E+00	3,18E+00	1,72E+00	6,27E+01

Tabella 8 – Produzione complessiva di rifiuti nell'ambito A e nei sub-ambiti per categoria merceologica.

Categorie merceologiche	Totale sub-ambito A1	Totale sub-ambito A2	Totale sub-ambito A3	Totale sub-ambito A4	Totale AMBITO A
ANNO 2001	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)
TOTALE	2,52E+05	6,81E+04	5,72E+04	1,58E+04	3,93E+05
ORGANICO	9,58E+04	2,61E+04	2,15E+04	6,28E+03	1,50E+05
CARTA	7,82E+04	2,09E+04	1,75E+04	4,68E+03	1,21E+05
VETRO	2,09E+04	5,58E+03	5,01E+03	1,28E+03	3,28E+04
PLASTICA	2,47E+04	6,74E+03	5,67E+03	1,52E+03	3,86E+04
ALLUMINIO	9,82E+03	2,68E+03	2,21E+03	6,02E+02	1,53E+04
FERROSI	2,57E+03	6,43E+02	8,89E+02	2,25E+02	4,32E+03
ALTRO	1,97E+04	5,36E+03	4,42E+03	1,20E+03	3,07E+04

Le quantità, espresse in unità di peso, rappresentano l'estensione del sistema. Per ciascuna categoria merceologica è stato isolato un proprio coefficiente di conversione, rappresentato dalla *solar transformity*.

La *transformity* specifica di ciascun materiale è una grandezza intensiva che dipende dalle caratteristiche del materiale stesso; esprime pertanto il contenuto di *sej* di una unità di peso di quel materiale, ovvero si definisce come la quantità di energia solare che è stata necessaria, direttamente o indirettamente, per ottenere una unità di prodotto specifico.

Una volta trasformata la quantità di prodotto (attraverso la *transformity*) ed espressa in *sej* si ottiene l'emergia del sistema, ovvero una grandezza estensiva che rispecchia insieme le caratteristiche ambientali (qualità) e le quantità effettive del sistema oggetto di studio.

I risultati sono espressi in *sej* e distinti per tipo di raccolta.

Tabella 9 – *Emergia da rifiuti per categoria merceologica: totale indifferenziata e differenziata.*

Categorie merceologiche	Totale sub-ambito A1	Totale sub-ambito A2	Totale sub-ambito A3	Totale sub-ambito A4	differenziata AMBITO A
	(<i>sej</i>)				
ANNO2001					
EMERGIA	8,76E+14	2,37E+14	1,98E+14	5,51E+13	1,37E+15
ORGANICO	3,61E+14	9,85E+13	8,11E+13	2,37E+13	5,64E+14
CARTA	2,46E+14	6,60E+13	5,53E+13	1,47E+13	3,82E+14
VETRO	1,75E+13	4,69E+12	4,21E+12	1,08E+12	2,75E+13
PLASTICA	9,38E+12	2,56E+12	2,15E+12	5,77E+11	1,47E+13
ALLUMINIO	1,57E+14	4,29E+13	3,53E+13	9,62E+12	2,45E+14
INGOMBRANTI	1,00E+13	2,51E+12	3,47E+12	8,77E+11	1,69E+13
ALTRO	7,42E+13	2,02E+13	1,66E+13	4,54E+12	1,16E+14

3.1.1. Ambito A: ATO Provincia di Cagliari

Il totale dell'emergia dovuta alla produzione di rifiuti nell'intero ambito della Provincia di Cagliari è pari a $1,37 \times 10^{15}$ *sej*.

Tabella 10 – *Emergia da rifiuti nell'intero ambito A per tipo di raccolta.*

Categorie merceologiche	SOLAR TRANSFORMITY	Indifferenziata AMBITO A	Differenziata AMBITO A	Totale AMBITO A
	(<i>sej/g</i>)	(<i>sej</i>)	(<i>sej</i>)	(<i>sej</i>)
ANNO 2001				
EMERGIA	1,34E+15	2,95E+13	1,37E+15	
ORGANICO	3,77E+09	5,63E+14	1,74E+12	5,64E+14
CARTA	3,15E+09	3,74E+14	8,75E+12	3,82E+14
VETRO	8,40E+08	2,57E+13	1,80E+12	2,75E+13
PLASTICA	3,80E+08	1,45E+13	1,36E+11	1,47E+13
ALLUMINIO	1,60E+10	2,45E+14	4,94E+09	2,45E+14
INGOMBRANTI	3,90E+09	-	1,69E+13	1,69E+13
ALTRO	3,77E+09	1,15E+14	2,36E+11	1,16E+14

L'approccio utilizzato si riferisce al modello dell'analisi del ciclo di vita che ripercorre il destino di un bene dalla culla alla tomba, ovvero dalla sua formazione alla sua deposizione finale. Ciascun sistema di smaltimento viene analizzato scorporandolo in tre fasi: *raccolta* (che considera sia la raccolta che il successivo trasferimento del rifiuto all'impianto prescelto), *trattamento* (processo di smaltimento vero e proprio) e *trattamento dei residui* (cioè la messa in sicurezza della parte residuale).

Figura 5 – Emergenza da rifiuti nell'intero ambito A: categorie merceologiche.

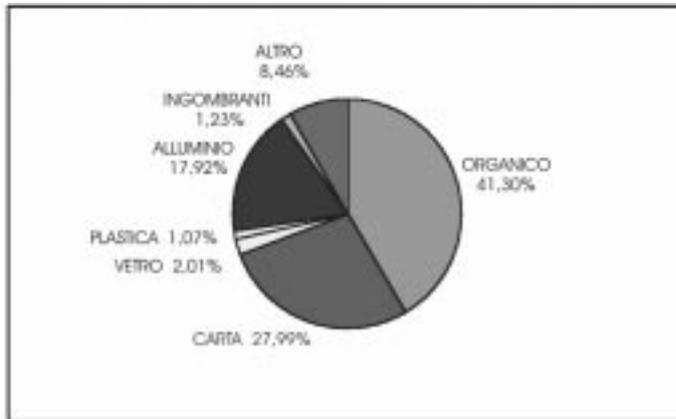


Figura 6 – Mappa della Provincia di Cagliari: emergenza da rifiuti.

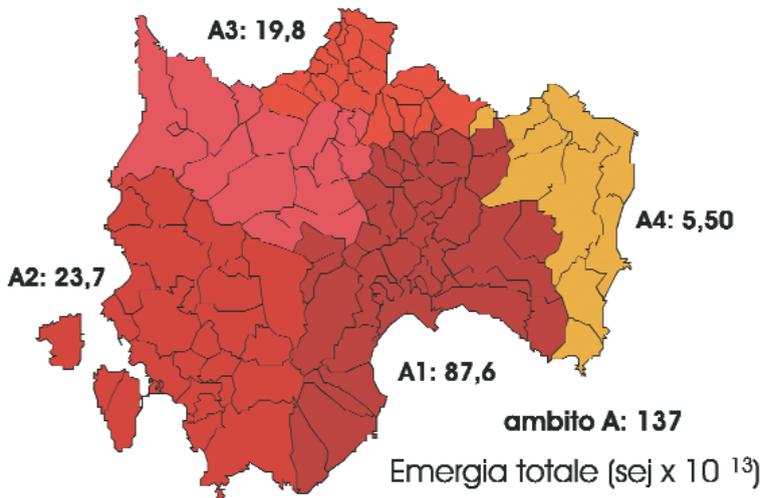
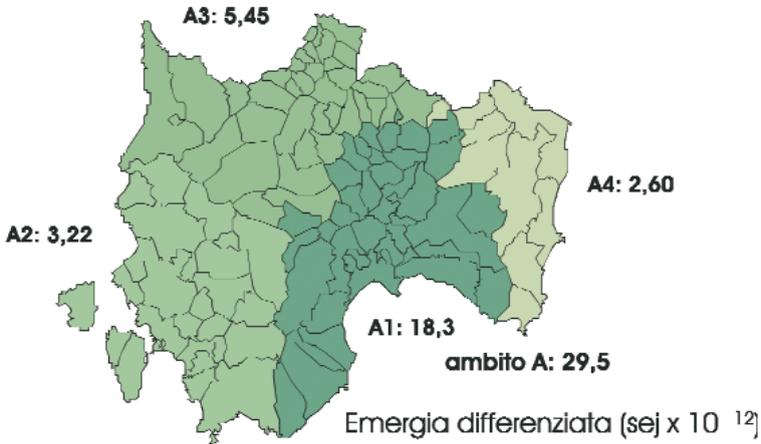


Figura 7 – Mappa della Provincia di Cagliari: energia da rifiuti differenziati.



L'approccio utilizzato si riferisce al modello dell'analisi del ciclo di vita che ripercorre il destino di un bene dalla culla alla tomba, ovvero dalla sua formazione alla sua deposizione finale. Ciascun sistema di smaltimento viene analizzato scorporandolo in tre fasi: *raccolta* (che considera sia la raccolta che il successivo trasferimento del rifiuto all'impianto prescelto), *trattamento* (processo di smaltimento vero e proprio) e *trattamento dei residui* (cioè la messa in sicurezza della parte residuale).

Tutti gli input, necessari per alimentare il processo, sono aggregati per fase e, a prescindere che siano unità materiali energetiche o economiche, convertiti in unità energetiche così da poter essere confrontabili.

L'analisi energetica consente di analizzare un processo uniformando tutti gli input che concorrono ad alimentarlo attraverso una unità di misura comune: l'energia solare equivalente. Tale operazione è possibile attraverso l'uso di fattori di conversione, chiamati *transformity*, che rappresentano il peso unitario del lavoro ambientale che è stato necessario per rendere disponibile le risorse. Quindi tutti gli input saranno misurati in termini di *solar energy joules (sej)* e sarà possibile effettuare dei confronti.

L'oggetto dell'analisi, in questa fase, non è relativo al valore, in termini di capitale naturale speso, del rifiuto in sé. L'attenzione è adesso rivolta esclusivamente ad una verifica e valutazione dell'efficienza ambientale dei sistemi di trattamento adottati nella Provincia di Cagliari e, in genere, dell'opportunità di investire ulteriori risorse per il recupero dell'energia ancora contenuta nel rifiuto. Di conseguenza vengono contabilizzate solo le risorse necessarie per trattare il rifiuto, partendo dalla raccolta fino alla deposizione finale.

Tabella 11 – Confronto tra gli impianti della Provincia di Cagliari.
Investimenti energetici.

Impianti 2001 EMERGIA	Raccolta sej	Trattamento sej	Residui sej	Totale sej	Investimento sej/t	Investimento sej/MWh
Discarica di Sordiana	1,14E+19	1,38E+19	3,47E+16	2,52E+19	1,92E+14	1,54E+10
Discarica di Carbonia	8,72E+18	2,17E+19	2,39E+17	3,07E+19	3,05E+14	-
Discarica di Villacidro	6,04E+18	2,12E+19	7,59E+17	2,80E+19	4,03E+14	-
Discarica di Villasimius	1,13E+18	4,82E+18	1,87E+16	5,97E+18	3,81E+14	-
Inceneritore di Casie	1,20E+19	2,24E+19	8,64E+18	4,30E+19	2,07E+14	5,49E+09
TOTALI	3,93E+19	8,39E+19	9,69E+18	1,33E+20	-	-

4. Conclusioni

La gestione integrata del rifiuto richiede un approccio olistico al problema dello smaltimento, puntando a monte sulla riduzione della produzione del rifiuto e a valle sul recupero di materia e di energia. Questa analisi vuole essere un contributo per l'amministrazione nella direzione di valutare quanto una scelta sia ambientalmente compatibile.

In questo senso il termine ambientale non è riferito solo alle emissioni evitate ma più in generale si rifa ad un'idea di ambiente che non rappresenti più un'externalità ma piuttosto un *capitale naturale* da difendere e valorizzare perché base fondamentale del sistema antropico. In questa parte dell'analisi è stato valutato il costo ambientale necessario per smaltire una tonnellata di rifiuto, cioè si è calcolato l'investimento energetico necessario per trattare una tonnellata di rifiuto in maniera integrata, cioè considerando varie tipologie di smaltimento con l'intenzione di confrontare le varie procedure.

Dai risultati ottenuti siamo in grado di valutare il peso complessivo del settore smaltimento rifiuti e delle sue parti in termini di energia solare investita e risparmiata, le caratteristiche dei singoli impianti e delle varie componenti e fasi operative, l'efficienza dei due principali sistemi di trattamento (discarica e termovalorizzazione) in un'ottica di sostenibilità ambientale.

In generale, ad oggi, il sistema di gestione integrato sembra essere il più efficace in virtù della varietà dei trattamenti adottati in parallelo a fronte di una indicazione scientifica ancora non chiaramente rivolta a privilegiare, in toto, un metodo piuttosto che un altro.

Per dare un'idea delle dimensioni, in emergenza, delle varie componenti del settore trattate, ci limitiamo a dare alcuni valori

Il totale dell'emergia da rifiuti è pari a $1,37 \times 10^{15}$ sej e rappresenta una risorsa da cui si deve attingere ed ottenere il massimo risultato energetico possibile.

L'emergia investita dal sistema di smaltimento nelle tre fasi di raccolta, trattamento e trattamento dei residui, limitatamente ai cinque impianti primari presenti in Provincia di Cagliari, è stimato intorno a $1,25 \times 10^{20}$ sej.

La produzione di elettricità complessiva del sistema, attribuibile peraltro a solo due degli impianti presenti (il termovalorizzatore di Macchiareddu e la discarica di Serdiana) è pari a $1,81 \times 10^{14}$ j che, se equiparati ad una produzione di energia elettrica da termoelettrico, corrispondono a $3,61 \times 10^{19}$ sej.

Bibliografia

- BASTIANONI S., MARCHETTINI N., PANZIERI M. (1998), *Environmental sustainability indicators: thermodynamic aspects in Annali di Chimica*, vol.88, 755-760.
- BASTIANONI S., DONATI A., MARCHETTINI N., NICCOLUCCI V., PORCELLI M., TIEZZI E. (1999), *Ecological modelling of waste management based on sustainability indicators in Annali di Chimica*, vol.89, 655-659.
- MARCHETTINI N., TIEZZI E. (1995), *Le basi scientifiche dello sviluppo sostenibile in Economia Ambiente XIV*, (1-2), 13-15.
- ODUM H. T. (1996), *Environmental Accounting. Emergy and Environmental decision Making*, Wiley & Sons, New York.
- TIEZZI E. (1995), *Verso uno sviluppo sostenibile*, Oikos – Ekoclub 1, 4-6.
- TIEZZI E., MARCHETTINI N., (2003), *Analisi Emergetica del Sistema di Gestione dei Rifiuti della Provincia di Cagliari*, atti del Seminario “Sostenibilità ambientale nella Provincia di Cagliari” Provincia di Cagliari, Assessorato Tutela Ambientale, Settore Ambiente Ecologia, Cagliari.