

Titolo II
Dispositivo di Piano: linee di indirizzo, pianificazione e programmazione
Capitolo II.1
Analisi relativa alla produzione
Paragrafo II.1.3.
Impianti alimentati da fonti rinnovabili
II.1.3.7.
Impianti per il recupero di energia dai rifiuti urbani

Prof. ing. Massimo Dentice d'Accadia
DETEC - Università degli studi di Napoli
FEDERICO II
Tel 0817682299
Fax 0812390364
Email dentice@unina.it

INDICE

- 1 Il ciclo integrato dei rifiuti in Campania**
 - Il Piano Regionale di Smaltimento dei Rifiuti Urbani (RU)
 - Previsioni di costo
 - Ricadute occupazionali
 - Stato di attuazione al dicembre 2001

- 2 Analisi del sistema integrato di smaltimento rifiuti in Campania**
 - Analisi energetica
 - Analisi economica
 - Aspetti ambientali: riduzione delle emissioni di gas serra
 - Il recupero di energia dal biogas di discarica
 - Situazione dello sfruttamento del biogas nella regione Campania e sviluppi previsti
 - Quadro riepilogativo e conclusioni

1. IL CICLO INTEGRATO DEI RIFIUTI IN CAMPANIA

Il Piano Regionale di Smaltimento dei Rifiuti Urbani (RU)

Il sistema di gestione dei rifiuti solidi urbani che ha caratterizzato per anni la realtà territoriale della regione Campania è stato quello dell'indiscriminato smaltimento in discarica di tutte le componenti del rifiuto. In questo modo, non si tenevano in alcuna considerazione le potenzialità produttive del rifiuto. Il piano regionale di smaltimento, promulgato nel luglio del 1997, è stato elaborato dal Commissariato Straordinario di Governo, istituito nel 1996. Esso è stato ispirato al principio che, per la soluzione della situazione di emergenza in questo settore, dovesse prevedersi il ricorso ad una gestione integrata. Pertanto, in accordo con quanto stabilito dal cosiddetto Decreto Ronchi, l'obiettivo primario fissato dal piano è quello di minimizzare la quantità, e contemporaneamente la pericolosità ambientale ed igienico/sanitaria, dei rifiuti avviati in discarica. A tal fine è stato stabilito di incrementare le pratiche del riciclaggio e del recupero dei materiali e di favorire la realizzazione di impianti di termovalorizzazione. Il piano è quindi fondamentalmente incentrato su due aspetti:

- sviluppo della raccolta differenziata (e quindi del riciclaggio);
- produzione, a partire dai rifiuti raccolti in modo indifferenziato e/o non diversamente utilizzabili, di Combustibile Derivato dai Rifiuti (Refuse Derived Fuel, RDF) da utilizzare in appositi impianti di termodistruzione con produzione di energia elettrica.

Dal punto di vista energetico, entrambi questi aspetti risultano di grande rilevanza: infatti, la produzione di materie seconde a partire dal riciclaggio comporta un significativo risparmio energetico, in quanto i processi di trattamento richiesti per il recupero ed il successivo utilizzo dei materiali sono normalmente meno "energivori" di quelli convenzionali, mentre l'utilizzo di RDF per la produzione di energia elettrica ed eventualmente termica comporta, ovviamente, un ulteriore risparmio di fonti fossili convenzionali.

Grazie all'approccio integrato, a regime si prevede di dover collocare in discarica esclusivamente i residui inerti dei vari processi di produzione RDF e riciclaggio. A quest'ultimo, e quindi alla raccolta differenziata, viene evidentemente attribuito un ruolo fondamentale.

L'obiettivo inizialmente prefissato nel piano prevedeva di raggiungere in diverse fasi predefinite (di 2-4-6-8 mesi) una percentuale di RD pari ad almeno il 6-9-15-25%, rispettivamente, per poi pervenire, a regime, al valore minimo del 35% prescritto dal Decreto Ronchi.

Per quanto riguarda la caratterizzazione quantitativa e qualitativa della produzione di rifiuti nella Regione, si farà riferimento nel seguito ai dati riportati nel documento "Analisi dei flussi RSU della Regione Campania secondo gli obiettivi dell'Ordinanza n° 2948 del 25 febbraio 1999", del luglio 1999, redatto per conto del Ministero dell'Ambiente, servizio ARS-Emergenze.

In tabella 1 viene descritta la composizione merceologica dei rifiuti. Le figure 1 e 2 mostrano, rispettivamente, le quantità totali di rifiuti conferite nell'anno 1997, per ciascuno dei 18 bacini in cui è stato suddiviso il territorio regionale, ed i corrispondenti valori giornalieri pro-capite. In figura 3 i dati sulla produzione totale e pro-capite di RU sono riportati sulla mappa relativa alla suddivisione del territorio in bacini.

La produzione complessiva di RU in Campania supera, mediamente, i 2,5 milioni di t/anno, cui corrisponde una produzione giornaliera pro-capite media di 1,1 kg/giorno a persona, sostanzialmente in linea con il valore medio nazionale (circa 1,2 kg/ giorno a persona).

I rifiuti complessivamente raccolti in modo differenziato, a regime, dovrebbero raggiungere la soglia minima di 900.000 t/anno, riducendo a circa 1.600.000 t/anno la quantità di rifiuti da avviare al trattamento necessario per la produzione di RDF.

Tabella 1 - Caratteristiche dei Rifiuti Urbani prodotti in Campania (anno 1996) e previsioni di piano per la raccolta differenziata.

Frazione merceologica	(%)	Pci (kJ/kg)	Frazioni da recuperare (%)	Frazioni rispetto al totale (%)
Carta e Cartone	23,23	- 60	50	11,6
Vetro	5,67	12.600	80	4,5
Plastiche	10,91	30.100	20	2,2
Metalli	3,26	- 120	70	2,3
Verde città	3,84	14.200	80	3,1
Scarti mensa	29,94	13.800	40	12,0
Tessili	4,52	6.100	-	0
Legno	1,80	5.400	-	N.D.
Sottovaglio	8,68	2.100	-	0
Inerti	1,25	- 60	-	N.D.
Ingombranti	0,69	4.200	-	N.D.
Altro	6,21	- 60	-	0
TOTALE				35,7

Totale conferito (t/anno)

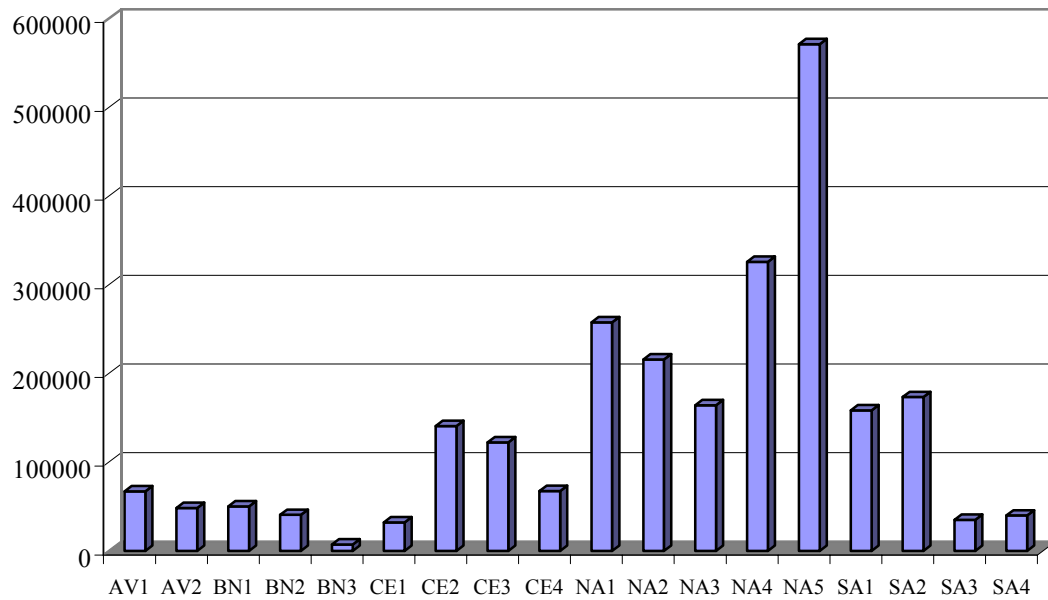


Figura 1 - Conferimento rifiuti in Campania per bacino (anno 1997).

Conferimento giornaliero pro-capite medio (t / giorno x persona)

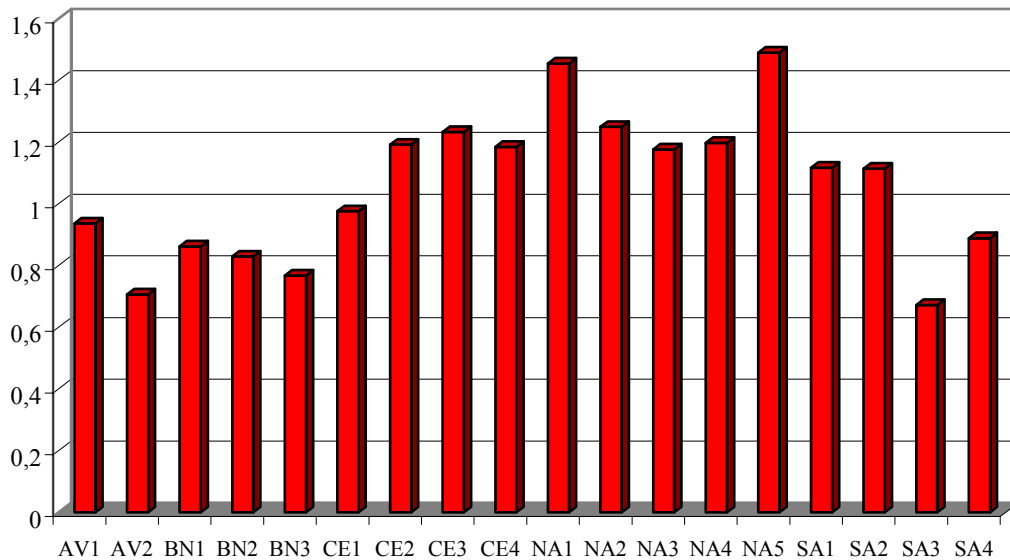


Figura 2 - Conferimento rifiuti pro-capite in Campania, per bacino (anno 1997).

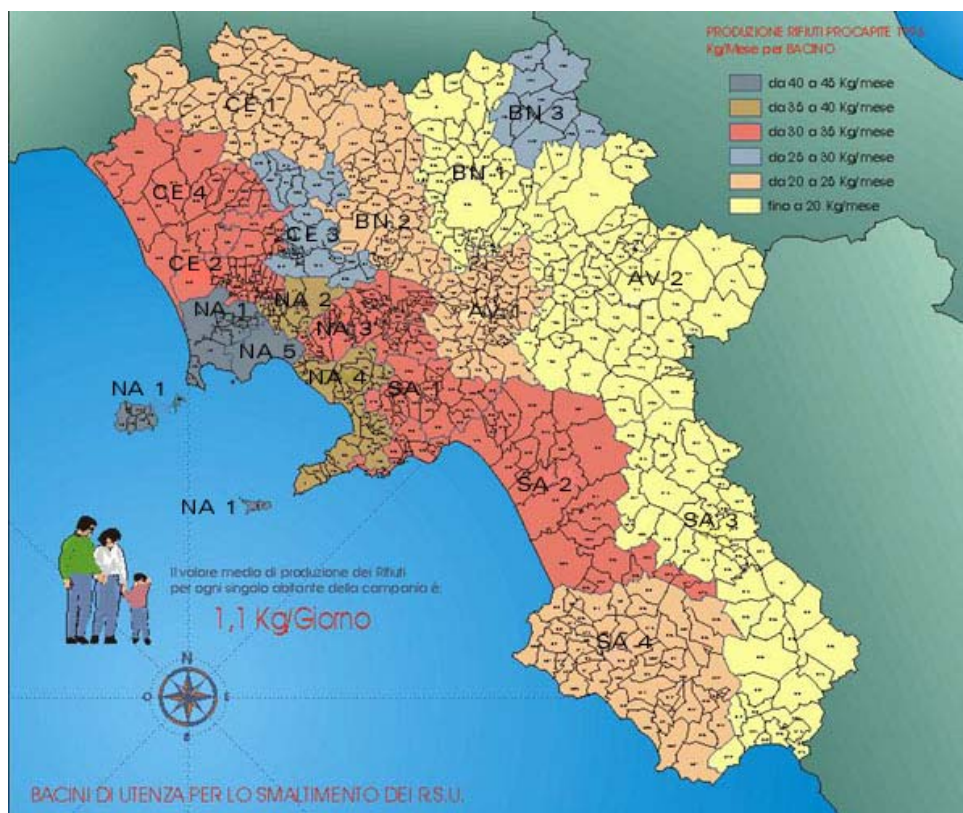


Figura 3 - Produzione RU in Campania per bacino, anno 1997.

In particolare, il Piano prevede la realizzazione di sette impianti per la produzione del RDF e di due impianti di conversione del RDF in energia elettrica:

- *impianti di produzione RDF e loro potenzialità:*

- 1) Caivano (NA): 2000 t/giorno
- 2) Giugliano (NA): 1500 t/giorno
- 3) Tufino (NA): 1700 t/giorno
- 4) Battipaglia (SA): 1400 t/giorno
- 5) S. Maria Capua Vetere (CE): 1200 t/giorno
- 6) Pianodardine (AV): 400 t/giorno
- 7) Casalduni (BN): 300 t/giorno

- *impianti di conversione energetica del RDF e loro potenzialità:*

- 1) Acerra (CE): 120 MW elettrici, corrispondenti a circa 90 t/h di RDF in ingresso;
- 2) S. Maria la Fossa (CE): impianto da circa 80 MW elettrici, corrispondenti a circa 60 t/h di RDF in ingresso.

Dei sette impianti di produzione RDF previsti, risultano già in esercizio, al maggio 2002, quelli di Caivano, Giugliano, S. Maria Capua Vetere e Pianodardine.

La capacità complessiva prevista a regime per gli impianti di produzione di RDF e relativa conversione energetica è tale da consentire lo smaltimento di oltre 2.000.000 t/anno di rifiuti, in modo da consentire alla regione di raggiungere una sostanziale autosufficienza nello smaltimento dei RU, a patto che la raccolta differenziata raggiunga almeno un valore del 20 - 25%.

Il ciclo di produzione di RDF assunto a riferimento per gli impianti in corso di realizzazione in Campania si articola nelle seguenti fasi:

- triturazione grossolana dei rifiuti, finalizzata all'apertura dei contenitori e all'ottenimento di materiale con pezzatura ottimale per i successivi trattamenti;
- vagliatura primaria dei rifiuti, realizzata in vagli a tamburo rotante, con la loro suddivisione in due distinti flussi, costituiti, rispettivamente, dal sovrallo primario (frazione non passante attraverso i fori del vaglio) e dal sottovaglio primario (frazione passante attraverso i fori del vaglio);
- separazione magnetica, selezione manuale e pressatura del sovrallo primario, per la produzione di RDF;
- vagliatura secondaria del sottovaglio primario, con formazione di un sovrallo secondario e di un sottovaglio secondario;
- separazione magnetica e separazione balistica del sovrallo secondario, la cui frazione pesante viene inviata alla pressatura per la formazione del RDF, mentre la frazione leggera viene riunificata con il sottovaglio secondario dopo la fase di separazione magnetica a cui è sottoposto quest'ultimo;
- separazione magnetica e successivo invio alla stabilizzazione biologica del sottovaglio secondario, costituito prevalentemente da materiali ad alto contenuto organico;
- raffinazione del materiale organico stabilizzato.

In definitiva, il rifiuto in ingresso all'impianto è suddiviso in uscita in 5 diversi flussi:

- RDF da avviare all'impianto di conversione energetica;
- frazione organica stabilizzata aerobicamente;
- perdite nel processo biologico;
- materiali metallici a base di ferro e di alluminio, da immettere nel circuito delle materie prime e secondarie;
- sovralli da inviare in discarica.

Il processo di selezione comprende alcune fasi finalizzate esclusivamente alla massimizzazione dei parametri quali-quantitativi del RDF, ai fini della produzione di un prodotto con caratteristiche conformi a quelle definite dalla normativa italiana vigente.

La realizzazione e l'utilizzo di tali fasi saranno concomitanti alla realizzazione e all'esercizio dell'impianto di conversione energetica. Ulteriori fasi mirano a sottoporre la frazione organica dei rifiuti, separata nelle linee di selezione, ad un processo di trasformazione biologica in ambiente aerobico, al duplice scopo di ridurne il quantitativo e di trasformarla in un materiale stabilizzato da impiegare per interventi di bonifica ambientale. Il risultato complessivo previsto è sintetizzato efficacemente dai grafici riportati in figura 4, forniti direttamente dal Commissariato di Governo, nei quali sono indicate anche le percentuali di raccolta differenziata previste a regime per ciascuna frazione merceologica del rifiuto.

Come si evince dai grafici in figura, per ogni tonnellata di RU prodotti, 350 kg saranno avviati al recupero di materia (riciclaggio e compostaggio), 650 kg saranno trattati negli impianti di RDF per produrre circa 250 - 300 kg di combustibile, dai quali sarà poi possibile ottenere dai 300 ai 350 kWh di energia elettrica.

Previsioni di costo

Ad oggi, sono inoltre stati investiti più di 400 miliardi di lire (200 milioni di euro) per l'acquisto di mezzi ed attrezzature per la raccolta differenziata e per gli impianti di riciclaggio inerti e compostaggio.

Per il solo compostaggio, la spesa finale per gli impianti attualmente previsti è di circa di circa 40 miliardi di lire (20 milioni di euro).

Per quanto riguarda la realizzazione degli impianti di compattazione e trasferta RU, la spesa finale prevista è di 25 miliardi di lire (circa 23 milioni di euro).

Ulteriori 400 - 500 milioni di lire (200.000 - 250.000 euro) saranno complessivamente utilizzati per le campagne di sensibilizzazione ed informazione.

Per quanto riguarda gli impianti di produzione RDF e termovalorizzazione, il cui costo finale sarà superiore ai 1200 miliardi di lire (oltre 600 milioni di euro), la realizzazione è stata affidata, a tramite gara d'appalto, ad un raggruppamento di imprese composto da:

- FISIA Italimpianti S.p.A. (mandataria)
- BABCOCK KOMMUNAL (mandante);
- DEUTSCHEBABCOCK ANLAGEN (mandante);
- EVO OBERHAUSEN AG (mandante);
- IMPREGILO S.p.A. (mandante).

Tale raggruppamento di imprese, come da contratto stipulato con il Commissario di Governo, sta provvedendo in proprio alla loro costruzione ed alla loro gestione per un decennio.

Ricadute occupazionali

Si prevede che la realizzazione e il mantenimento in esercizio degli impianti previsti dal piano condurrà alla creazione di circa 6500/7500 posti di lavoro.

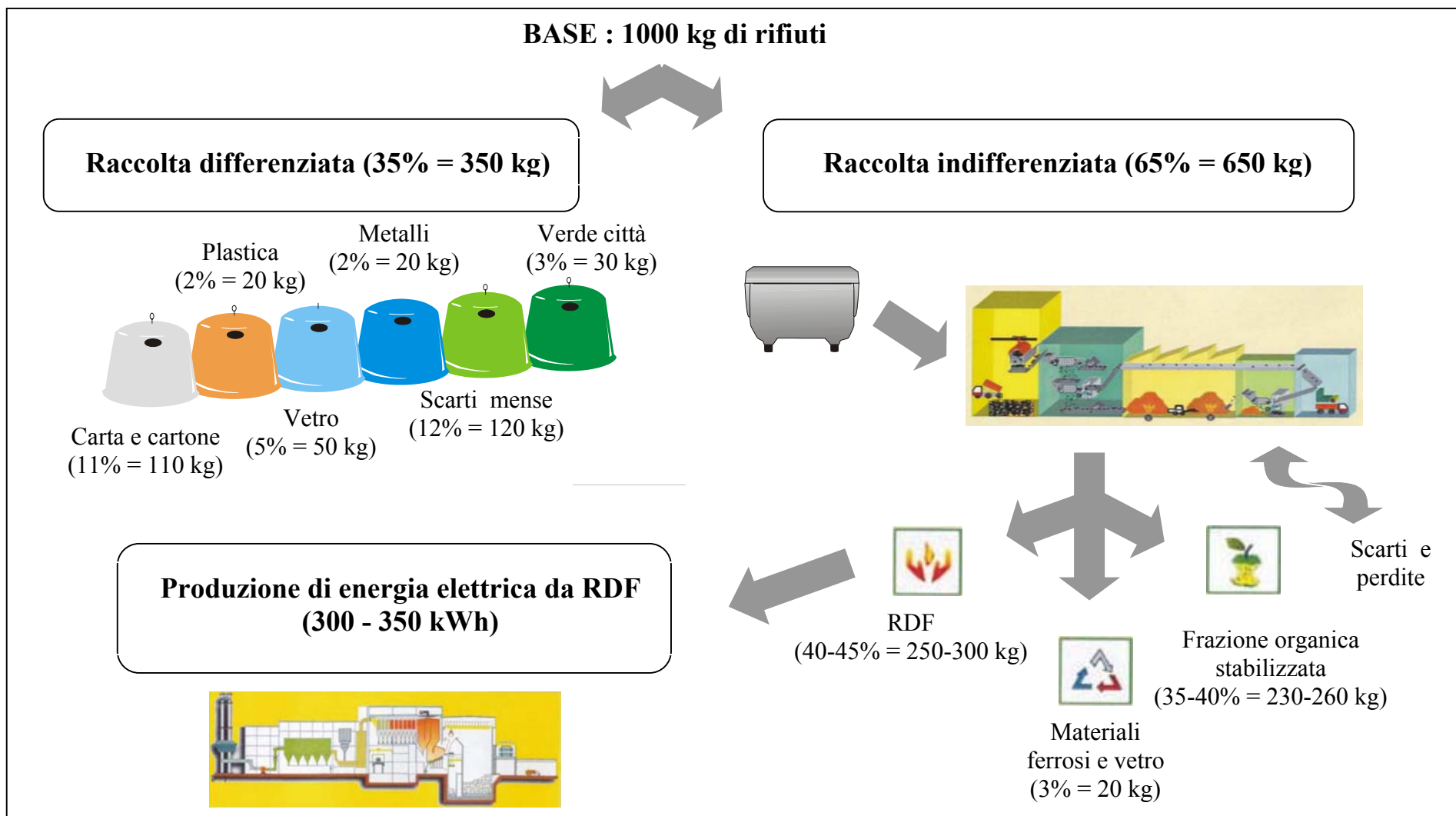


Figura 4 - Sintesi del Piano Rifiuti in Campania.

Stato di attuazione al dicembre 2001

Lo stato di attuazione del piano di smaltimento, per quanto riguarda gli impianti di maggiore rilevanza, è il seguente.

Relativamente agli impianti di produzione di energia elettrica da RDF, l'impianto di Acerra (CE), da 120 MW elettrici, è attualmente in costruzione, mentre per il secondo, con potenza elettrica nominale di circa 80 MW, non è ancora stata individuata in via definitiva la localizzazione, ed è attualmente allo studio l'ipotesi di S. Maria la Fossa, in provincia di Caserta.

In merito agli impianti di produzione di Combustibile Derivato dai Rifiuti (Refuse Derived Fuel, RDF), sono attualmente in costruzione i seguenti:

- Battipaglia (SA);
- Tufino (NA);
- Casalduni (BN);

mentre risultano già in funzione:

- Giugliano (NA);
- Pianodardine (AV)
- S.Maria Capua Vetere (CE)
- Caivano (NA)

Inoltre, preso il sito di Giugliano è tuttora in funzione un impianto di vagliatura (separazione secco/umido).

La raccolta differenziata si è attestata nel 2001 intorno ad un valore di circa il 10%, su base regionale (anche se il dato è da intendersi come una stima del tutto indicativa, non essendo stato possibile ottenere in proposito informazioni dettagliate ed aggiornate, in tempi utili).

2. Analisi del sistema integrato di smaltimento rifiuti in Campania

L'analisi energetica ed economica del ciclo integrato dei RU sarà effettuata sulla base di un modello di calcolo semplificato ma certamente idoneo alle valutazioni di massima che ci si propone. Per la descrizione del modello utilizzato e delle ipotesi alla base dei calcoli si rimanda alla relazione estesa allegata al Piano Energetico Regionale.

Va notato esplicitamente che tutti gli aspetti legati all'eventuale utilizzazione del biogas di discarica per la produzione di energia saranno presi in considerazione in un paragrafo specifico, per cui vengono inizialmente omessi.

Si specifica, inoltre, che l'analisi energetica sarà effettuata considerando congiuntamente gli aspetti relativi alla produzione mediante termoutilizzazione dei rifiuti e quelli inerenti il risparmio di energia conseguibile mediante il riciclaggio, in virtù delle strettissime correlazioni esistenti tra i due aspetti del problema.

Per tutte le variabili in gioco, si farà riferimento ai valori medi, validi per la regione Campania, forniti direttamente dal Commissariato Regionale di Governo.

Analisi energetica

I risultati finali dell'analisi energetica sono riassunti in tabella 2

Considerando una produzione complessiva di rifiuti di 2.500.000 t_{RU}/anno, si perviene ad un risparmio energetico complessivo compreso tra 490 e 680 ktep/anno (tra 22 e 29 milioni di GJ/anno), corrispondenti a circa 3,6 - 5,0 milioni di barili equivalenti di petrolio, con un controvalore economico medio (assumendo un prezzo del barile di 20 US\$) compreso tra 80 e 110 milioni di euro all'anno (150 - 210 miliardi di lire/anno).

In particolare, nello scenario di riferimento, la produzione netta di energia elettrica mediante combustione di RDF ammonta a circa 840 GWh/anno, corrispondenti a 4200 h/anno equivalenti di esercizio per i due impianti di conversione previsti (200 MW elettrici complessivi).

Rapportando il risparmio energetico corrispondente alla produzione ed alla conversione in energia elettrica del RDF ai corrispondenti costi sostenuti dalla collettività (raccolta indifferenziata e conferimento agli impianti di RDF) si perviene ad un valore di circa 40 GJ/MLit (0,080 GJ/€).

Il potenziale di risparmio energetico complessivamente più significativo è però quello legato al riciclaggio ed alla conseguente produzione di materie seconde, anche se è evidente che tale potenziale potrebbe non corrispondere interamente ad un risparmio energetico per la regione, in quanto parte dei materiali recuperati in Campania potrebbero essere utilizzati altrove. Per il riciclaggio, il rapporto tra energia risparmiata e costo netto complessivo delle attività di raccolta differenziata si aggira mediamente intorno a 200 ÷ 250 GJ/MLit (0,40 ÷ 0,50 GJ/€).

Allo scopo di valutare l'influenza di alcune delle variabili indipendenti del problema (segnatamente, le percentuali di recupero per vetro, carte, plastica e metalli) sul risparmio energetico complessivamente conseguibile, è stata effettuata un'analisi di

sensibilità, i cui risultati sono riassunti nella figura 5. Si può notare come un incremento nell'efficienza della raccolta differenziata comporti complessivamente un incremento del risparmio energetico complessivo, anche se la sensibilità non è eccessiva, visto che la massima variazione riscontrata, ipotizzando un incremento nella raccolta differenziata di una singola frazione merceologica del 20%, risulta essere del 5%.

Particolare attenzione va posta ai risultati relativi a carta e plastica, frazioni merceologiche per le quali, dato l'elevato potere calorifico, si pone in modo particolarmente evidente il problema di stabilire se sia preferibile il riciclaggio o piuttosto l'utilizzo energetico. E' quindi significativo che l'andamento del risparmio energetico complessivo sia crescente con la percentuale di riciclaggio anche per questi materiali, per i quali aumentare la percentuale riciclata comporta certamente una riduzione dell'energia elettrica ottenibile dalla conversione energetica del RDF. Naturalmente, questo risultato non permette da solo di pervenire ad una conclusione definitiva sulle strategie ottimali di gestione di queste componenti dei RU, per cui il problema sarà ripreso a valle delle analisi economiche e di impatto ambientale.

La sensibilità del risparmio di energia rispetto alla frazione di organico raccolta in modo differenziato non è riportata nel grafico, in quanto molto prossima a zero.

Analisi economica

Le analisi economiche possono risultare di notevole interesse, fornendo indicazioni utili nella pianificazione e nella gestione delle diverse attività previste nel ciclo integrato, e mettendo in luce il fatto che i rifiuti, opportunamente gestiti, possono essere considerati per molti aspetti come una vera e propria risorsa economica.

Tabella 2 - Risultati dell'analisi energetica.

Settore	<i>Risparmio di energia primaria da fonti convenzionali per unità di rifiuto da smaltire (GJ/t_{RU})</i>
Produzione materie seconde (raccolta differenziata)	da 5,3 a 8,1
Ulteriore produzione di materie seconde a partire dai recuperi della produzione di RDF	da 0,16 a 0,58
Produzione e conversione energetica del RDF	3,0
Risparmio energetico totale	da 8,5 a 11,7

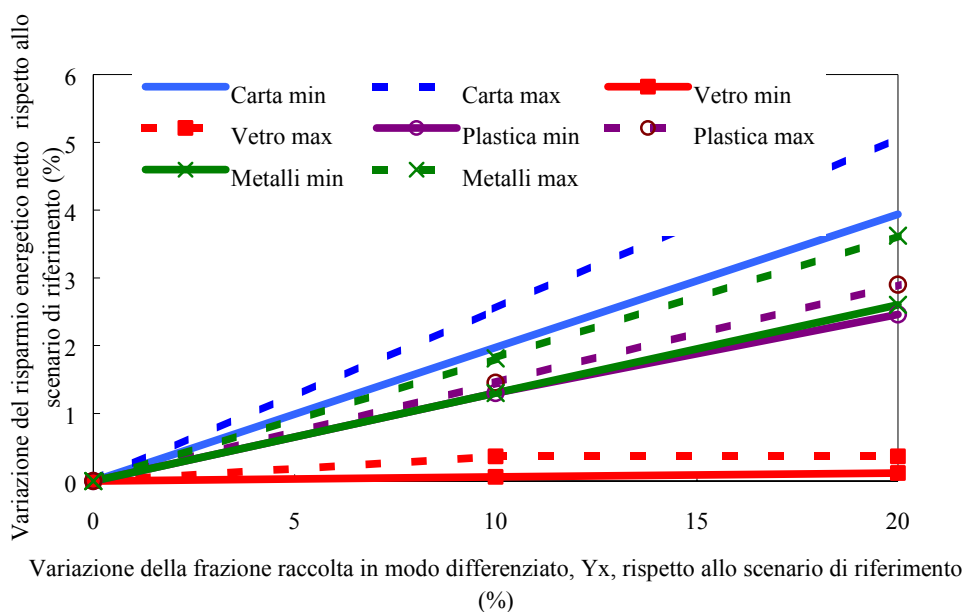


Figura 5 - Sensibilità del risparmio energetico complessivo alla percentuale di raccolta differenziata per carta, plastica, vetro e metalli.

Dal momento che numerosi operatori, pubblici e privati, operano nei diversi comparti delle attività di smaltimento, le considerazioni economiche saranno effettuate ragionando separatamente per ciascun comparto. In particolare, nel caso della regione Campania, le attività dell'intero schema integrato di smaltimento possono essere così suddivise:

- comparto della raccolta differenziata, a sua volta suddiviso nei seguenti sotto-comparti:
 - * raccolta;
 - * trattamento;
 - * utilizzazione materie seconde;
- comparto energetico, suddivisibile nei seguenti sotto-comparti:
 - * raccolta indifferenziata;
 - * produzione di RDF e relativa conversione energetica (considerati come un unico comparto, essendo gestiti da un unico soggetto).

L'indice economico utilizzato sarà il Valore Attuale Netto, o Net Present Value (NPV nel seguito), delle attività prese in considerazione, rapportato, per maggiore chiarezza, alla quantità di rifiuti complessivamente gestita (valore economico unitario).

del rifiuto).

I risultati delle valutazioni economiche sono riportati nelle tabelle 3 e 4.

Complessivamente, il valore economico del rifiuto ammonta a circa 140 Lit/kg_{RU} (0,70 €/kg), e questo risultato conferma come, da questo punto di vista, i rifiuti urbani possano considerarsi come una vera e propria risorsa economica.

Le sole attività legate alla raccolta differenziata risultano quasi sempre caratterizzate da un valore economico negativo, e richiedono dunque necessariamente il sostegno finanziario pubblico, d'altra parte pienamente giustificato dalla fondamentale importanza del servizio svolto, ai fini del conseguimento degli obiettivi indicati dal Decreto Ronchi.

Per quanto riguarda il trattamento e l'utilizzazione, i relativi valori economici nella maggior parte dei casi possono essere direttamente sommati, per ciascuna frazione merceologica, in quanto queste due attività sono generalmente svolte da un unico soggetto. Ragionando in questi termini, si ottengono valori economici sempre positivi, e piuttosto elevati nel caso della carta (oltre 40 Lit/kg_{RU}, circa 0,20 €/kg_{RU}) e dei metalli (altre 70 Lit/kg_{RU}, circa 0,35 €/kg_{RU}).

Relativamente al settore della conversione energetica, i valori economici unitari risultano positivi sia per la raccolta indifferenziata (7,7 Lit/kg_{RU}, 0,004 €/kg_{RU}) che, soprattutto, per la produzione di energia elettrica da RDF (quasi 40 Lit/kg_{RU}, circa 0,20 €/kg_{RU}). Va comunque sottolineato il fatto che la realizzazione degli impianti per la produzione e la termoutilizzazione di RDF in Campania non comporta oneri economici per lo Stato o la Regione, in quanto affidata a privati attraverso lo strumento del *project financing*.

Anche in questo caso si è realizzata un'analisi di sensibilità, per valutare la dipendenza del valore economico unitario del rifiuto dalla percentuale di raccolta differenziata per le frazioni merceologiche più significative. I risultati sono riportati in figura 6, nella quale si può osservare come l'incremento nell'efficienza della raccolta differenziata comporti sempre un leggero aumento del risultato economico complessivo delle attività di smaltimento, con la sola eccezione della plastica e, soprattutto, dell'organico, penalizzato da un costo particolarmente elevato. La sensibilità rispetto alla frazione merceologica rappresentata dal verde città non è riportata, perché trascurabile.

Per quanto riguarda segnatamente il riciclaggio della carta e della plastica, tuttavia, il problema della gestione ottimale dei flussi, tra raccolta differenziata e conversione energetica, merita certamente un approfondimento.

A tale scopo, in figura 7 si riportano schematicamente i risultati economici netti conseguibili rispettivamente dal riciclaggio e dalla conversione in energia di un chilogrammo di plastica e di un chilogrammo di carta, distinguendo espressamente i benefici ed i costi riguardanti la collettività (benefici corrispondenti al risparmio energetico conseguito, al netto dei costi della raccolta differenziata, nel caso del riciclaggio, e indifferenziata, nel caso della conversione energetica) da quelli relativi agli operatori privati (vendita di materie seconde, nel caso del riciclaggio, ed energia, nel caso della conversione di RDF, al netto dei corrispondenti costi di produzione).

Nel caso sia prevista l'erogazione di incentivi CIP 6/92 sull'energia elettrica prodotta dalla conversione di RDF, si può osservare come, dal punto di vista della collettività, la conversione energetica sia decisamente non vantaggiosa rispetto al riciclaggio, sia per la plastica che per la carta.

Tabella 3 - Risultati dell'analisi economica - Comparto del riciclaggio.

	VALORE ECONOMICO UNITARIO (Lit/kg _{RU})				
	Carta	Vetro	Plastica	Metalli	Org.
RACCOLTA DIFFERENZIATA	-0,76	0,76	-6,4	-4,4	-25,9
TRATTAMENTO	-8,4	-1,5	-7,7	0,4	1,7
UTILIZZAZIONE	52,6	8,0	16,9	64,1	6,2

Tabella 4 - Risultati dell'analisi economica - Comparto energetico

	VALORE ECONOMICO UNITARIO (Lit/kg _{RU})
RACCOLTA INDIFFERENZIATA	7,7
CONVERSIONE ENERGETICA	39,7

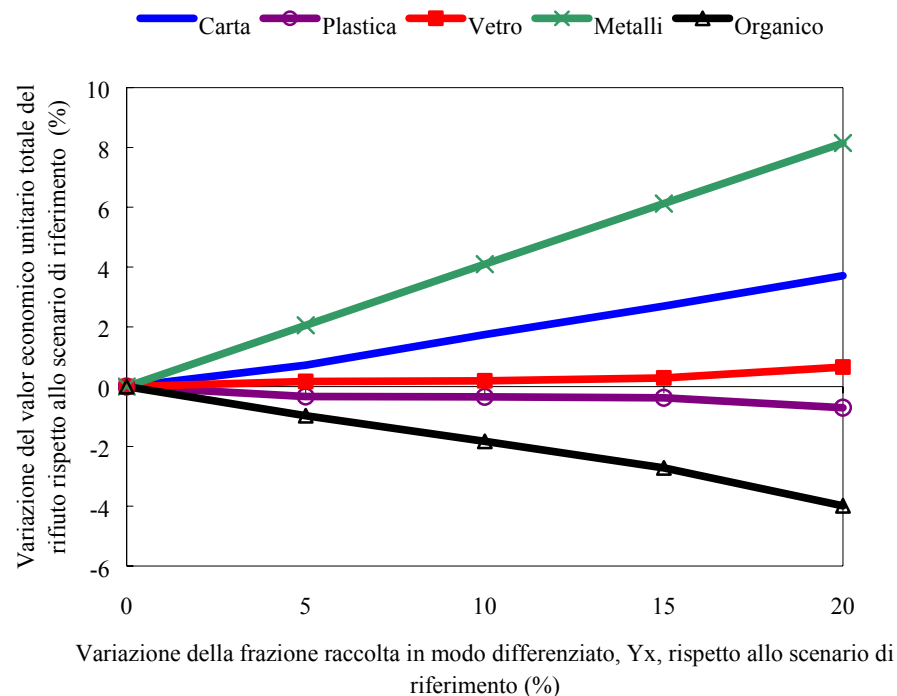


Fig. 6 - Sensibilità del valore economico totale del rifiuto alla percentuale di raccolta differenziata per carta, plastica, vetro, metalli e organico.

In assenza di incentivi CIP 6/92, anche se i risultati complessivi per la collettività sono meno sensibili alla scelta tra riciclaggio e conversione energetica, quest'ultima risulta mediamente meno conveniente. Infatti, affinché il risultato economico della conversione energetica sia quanto meno confrontabile con quello del riciclaggio, si deve verificare, soprattutto per la carta, almeno una delle seguenti condizioni:

- costi della raccolta differenziata molto elevati (almeno 600 Lit/kg, circa 0,30 €/kg, per la plastica, oltre 150 Lit/kg per la carta, circa 75 €/kg);
- prezzo di mercato del barile di petrolio medio / basso (sotto i 25 US\$/barile);
- bassi valori del risparmio energetico nella produzione di materie seconde a partire dal riciclaggio rispetto ai processi convenzionali basati sull'impiego di materie prime vergini.

Quindi, anche dal punto di vista economico, come già da quello energetico, l'opzione del riciclaggio di carta e plastica risulta essere mediamente la più conveniente per la collettività. Anche nell'ottica degli operatori privati, considerati nel loro complesso, in assenza di incentivi CIP 6/92 raccolta differenziata e riciclaggio sia della carta che della plastica risultano complessivamente più remunerative: un chilogrammo avviato al riciclaggio piuttosto che alla produzione di RDF e quindi alla conversione energetica vale dal 25 al 50% in più, nel caso della plastica, e dal 50 al 100% in più, nel caso della carta.

In presenza degli incentivi, viceversa, i ricavi netti complessivi della conversione energetica risultano confrontabili con quelli del riciclaggio per la carta, e leggermente superiori per la plastica.

		<u>Beneficio economico netto, incluso risparmio energetico (Lit/kg)</u>	
		<i>Collettività</i>	<i>Operatori del riciclaggio e del comparto energia</i>
1 kg plastica	riciclaggio	100 ÷ 500	300 ÷ 400
	convers. in energia	50 ÷ 100	200 ÷ 300
		<i>con vendita a prezzi CIP 6/92:</i>	
		-450 ÷ -500	400 ÷ 500
1 kg carta	riciclaggio	100 ÷ 200	300 ÷ 400
	convers. in energia	0 ÷ 50	150 ÷ 200
		<i>con vendita a prezzi CIP 6/92:</i>	
		- 200 ÷ - 300	250 ÷ 300

Figura 7 - Confronto economico tra riciclaggio e conversione energetica della plastica e della carta.

Aspetti ambientali: riduzione delle emissioni di gas serra

Il problema dell'impatto ambientale, a livello locale, degli impianti necessari per l'implementazione del sistema integrato di smaltimento dei rifiuti urbani in Campania è stato oggetto di ampie discussioni ed approfondite analisi nel corso degli ultimi anni, e pertanto si ritiene superfluo affrontarlo nuovamente in questa sede, rimandando in proposito agli studi specifici elaborati su incarico del Commissariato Straordinario di Governo (si veda, ad esempio, la relazione della SOGIN dal titolo "Impianti del programma di sviluppo della rete elettrica Campana - Modello di dispersione degli inquinanti in atmosfera", luglio 2001).

In questa sede si vuole invece concentrare l'attenzione sull'impatto globale delle attività del ciclo integrato dei rifiuti sulle emissioni di gas serra.

In base alle caratteristiche medie dei rifiuti urbani prodotti nella regione, ed alle altre ipotesi precedentemente introdotte in merito alle modalità ed all'efficienza previste a regime per la raccolta differenziata, la produzione di RDF e la relativa conversione energetica, è possibile stimare i benefici, in termini di riduzione nelle emissioni di gas serra, conseguenti all'adozione del sistema integrato di smaltimento, rispetto ad uno scenario di riferimento rappresentato dallo smaltimento in discarica controllata. Per non sovrastimare suddetti benefici, si assumerà, ottimisticamente, che tutte le discariche controllate dello scenario di riferimento siano di livello tecnologico medio-alto, con sistemi idonei alla captazione di almeno il 90% del biogas prodotto dai rifiuti, di cui il 50÷55% utilizzato per la produzione di energia elettrica ed il rimanente 45÷50% bruciato in torcia.

Sulla base di quanto specificato, si assumeranno i seguenti valori (minimi e massimi) di riferimento:

- minori emissioni nette complessive dovute al riciclaggio = 1,5 ÷ 2,0 tonnellate equivalenti di CO₂ per tonnellata di rifiuto raccolta in modo differenziato, con un valore medio del rapporto tra emissioni evitate e costo della raccolta tra 12 e 17 te_{CO2}/MLit (24 ÷ 34 te_{CO2}/k€), e dunque particolarmente elevato;
- minori emissioni nette complessive dovute alla produzione e conversione in energia del RDF = 0,30 - 0,40 tonnellate equivalenti di CO₂ per tonnellata di rifiuto raccolta in modo indifferenziato ed avviata alla produzione di RDF; il valore medio del rapporto tra emissioni evitate e costi di raccolta e conferimento risulta compreso tra 3 e 4 te_{CO2}/MLit (6 ÷ 8 te_{CO2}/k€),

Ne consegue che, a regime, l'adozione del sistema integrato di smaltimento dei RU consentirà di ridurre le emissioni di gas serra di 0,70 ÷ 1,3 tonnellate equivalenti di CO₂ per ogni tonnellata di RU prodotta. Per un livello di produzione di 2.500.000 t_{RU}/anno, si possono dunque stimare per l'intera regione minori emissioni comprese tra 1.800.000 e 2.400.000 te_{CO2}/anno.

In figura 8 è possibile valutare la sensibilità dei benefici complessivi ottenibili in termini di riduzione nelle emissioni di gas serra rispetto alle percentuali di raccolta

differenziata previste nello scenario di riferimento (gli scarti percentuali sono calcolati facendo riferimento ai valori medi delle emissioni specifiche). E' agevole osservare come l'incremento nell'efficienza della raccolta differenziata, e quindi del riciclaggio, comporti sempre un incremento nei benefici ambientali conseguibili, con la sola eccezione delle frazioni merceologiche degli scarti mensa (organico), che risulta comunque scarsamente influente sul risultato complessivo. Anche in questo caso la sensibilità rispetto al verde città non è stata riportata in figura, in quanto praticamente nulla.

Analizzando in maggior dettaglio il problema della gestione delle frazioni merceologiche plastica e carta, in modo analogo a quanto già fatto dal punto di vista energetico ed economico, in figura 9 si è riportato il confronto tra le emissioni evitate di gas serra per le opzioni riciclaggio e termovalorizzazione, sempre rispetto allo smaltimento in discarica controllata.

Come è evidente, il riciclaggio è sempre accompagnato da una maggiore riduzione nelle emissioni nette di gas serra, sia per la carta che per la plastica, frazione per la quale, addirittura, la conversione in energia si accompagna ad emissioni di gas serra complessivamente superiori rispetto allo scenario dello smaltimento in discarica. La differenza tra le emissioni evitate di gas serra nel riciclaggio rispetto alla termovalorizzazione è stimabile in 2,0 ÷ 2,6 tonnellate equivalenti di CO₂ per tonnellata nel caso della carta, ed in 2,5 ÷ 3,5 tonnellate equivalenti di CO₂ per tonnellata nel caso della plastica. Anche da questo punto di vista, dunque, risulta del tutto giustificata l'importanza strategica attribuita alla raccolta differenziata nella progettazione del ciclo integrato dei rifiuti urbani nella regione Campania.

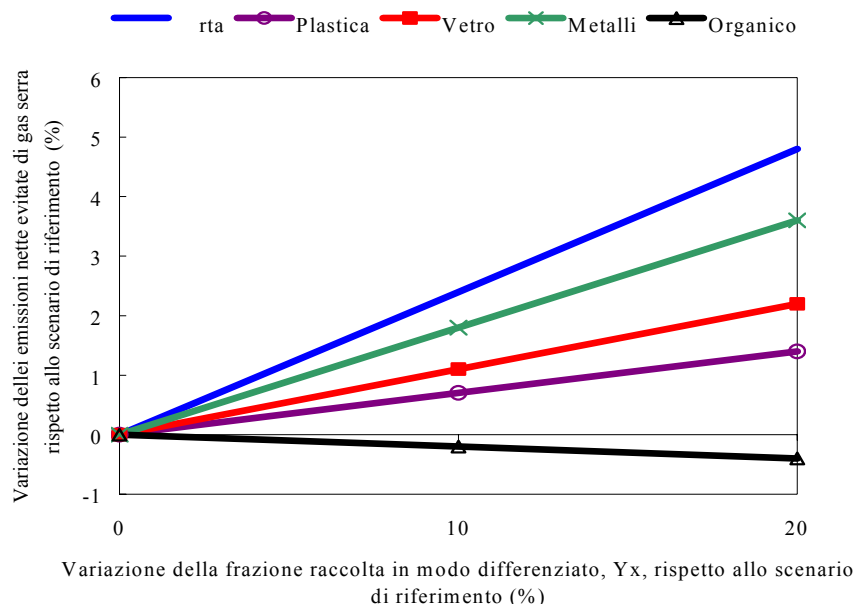


Figura 8 - Sensibilità delle emissioni evitate di gas serra rispetto alla percentuale di raccolta differenziata per carta, plastica, vetro e metalli.

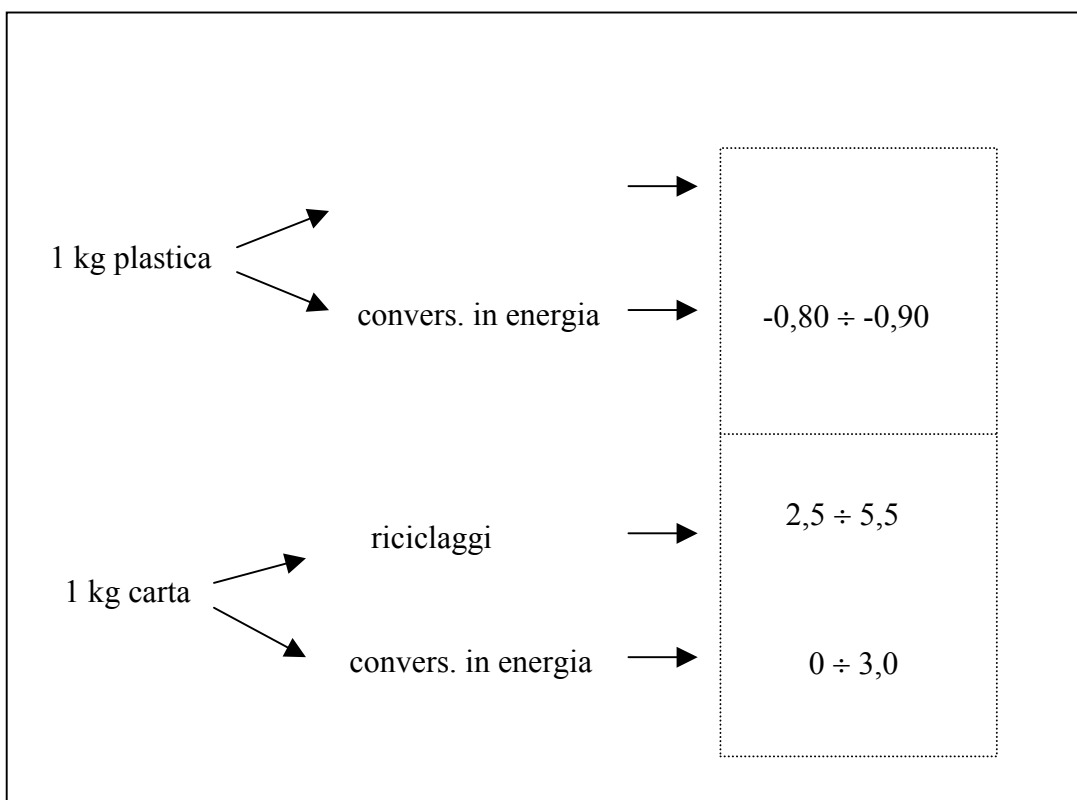


Figura 9 - Confronto, in termini di emissioni evitate di gas serra, tra riciclaggio e conversione energetica della plastica e della carta.

Il recupero di energia dal biogas di discarica

Stima della potenzialità teorica del biogas di discarica come fonte energetica

Una valutazione accurata delle potenzialità di sfruttamento energetico del biogas da discarica, e dei costi che tale sfruttamento comporterebbe, sarà possibile solo a valle di un censimento che permetta di conoscere in dettaglio la situazione delle oltre 80 discariche controllate di RU presenti sul territorio regionale (v. figura 10), o quanto meno di quelle le cui dimensioni sono tali da rendere plausibile, sotto il profilo tecnico-economico, l'ipotesi di utilizzo del biogas per la produzione di energia elettrica. La soglia minima, in tal senso, viene abitualmente collocata intorno a 150.000 ÷ 200.000 tonnellate complessivamente abbancate.

Sulla base dei dati attualmente disponibili, appare ragionevole assumere che almeno l'80% dei rifiuti smaltiti in discarica nella regione, negli ultimi 6 - 7 anni, sia stata collocata proprio in discariche di grandi dimensioni, nel senso sopra precisato.

Assumendo come periodo di riferimento quello compreso tra il 1995 ed il 2001, in quanto la produzione di biogas per i rifiuti abbancati prima del 1995 può ormai considerarsi poco significativa, e considerando una produzione media di rifiuti urbani di 2.500.000 t/anno, si può quindi stimare che la quantità di rifiuti potenzialmente interessanti per quanto riguarda lo sfruttamento energetico del biogas nel periodo 2003 ÷ 2012 sia di almeno 14 milioni di tonnellate.

Sulla base di una serie di ipotesi di lavoro (per le quali si rimanda alla relazione estesa allegata), si può pervenire alla stima del potenziale energetico da biogas e del corrispondente risparmio di energia primaria da combustibili fossili convenzionali riportata in tabella 5.

Secondo quanto riportato in tabella, il potenziale di risparmio energetico finale su dieci anni può quindi stimarsi compreso tra 16 e 25×10^6 GJ (da 380 a 600 ktep).

Assumendo che la fonte fossile sostituita sia il petrolio, e che il prezzo medio sia di 20 US\$/barile (valore prudenzialmente modesto), il corrispondente beneficio economico per la collettività risulta di almeno 60 - 90 M€ (120 - 180 miliardi di lire).

Il risparmio energetico per capitale investito è sempre molto elevato, rimanendo in tutti gli scenari esaminati nettamente al di sopra dei 100 GJ/MLit (200 GJ/k€).

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali, ed in particolare quelli relativi alle emissioni di gas serra, è possibile stimare i benefici conseguibili mediante l'introduzione di sistemi per l'utilizzo energetico del biogas di discarica sulla base dei seguenti fattori di emissione, basati sul confronto con l'ipotesi di dispersione in atmosfera:

- emissioni di gas serra evitate mediante combustione in torcia del biogas di discarica $\cong 6,6 \text{ kg}_{\text{CO}_2} / \text{Nm}^3$;
- emissioni di gas serra evitate mediante conversione del biogas di discarica in energia elettrica, con rendimento medio del 35% $\cong 7,7 \text{ kg}_{\text{CO}_2} / \text{Nm}^3$.

Si può quindi ritenere che, per ogni metro cubo di biogas utilizzato per la produzione di energia elettrica piuttosto che bruciato in torcia si abbia una riduzione nelle emissioni di gas serra di circa 1,1 kg equivalenti di CO₂. Da ciò si perviene ai risultati riportati in tabella 5.

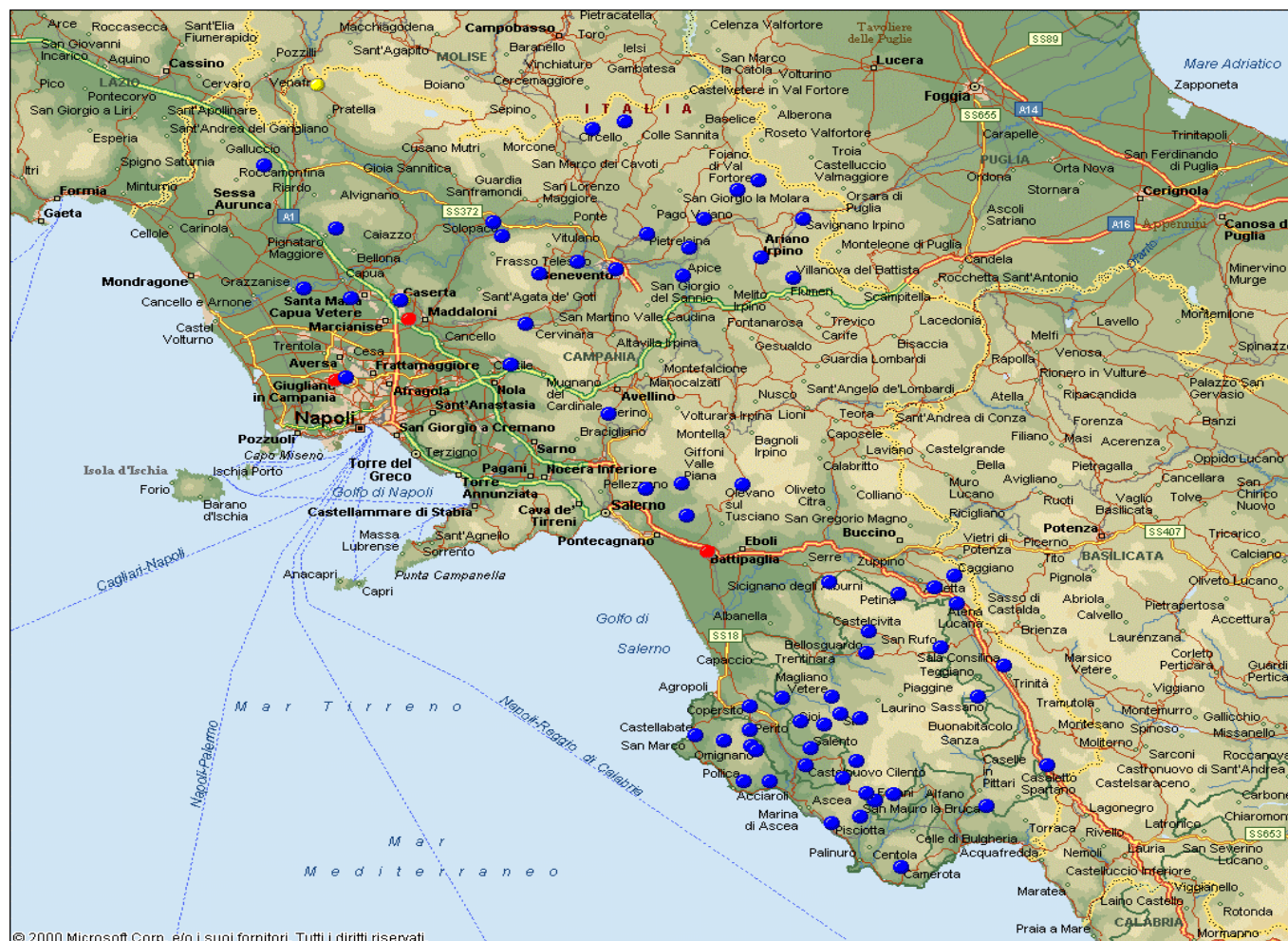


Figura 10 - Distribuzione delle discariche controllate sul territorio Campano (Federambiente, www.federambiente.it)

Tabella 5 - Stima del potenziale energetico medio annuo dal biogas di discarica nel periodo 2003 - 2012.

	<i>Scenario minimo (produzione 150 Nm³/t_{RU},coeff. utilizzo 50%)</i>	<i>Scenario massimo (produzione 200 Nm³/t_{RU}, coeff. utilizzo 60%)</i>
Energia primaria (10 ⁶ GJ/anno)	1,74	2,79
Energia elettrica (GWh/anno)	170	271
Risparmio di energia primaria (10 ⁶ GJ/anno)	1,56	2,50
Emissioni evitabili di gas serra rispetto alla combustione in torcia (te _{CO2} /anno)	115.000	186.000
Potenza elettrica installata corrispondente al potenziale energetico disponibile (MW)	35	55
Investimenti corrispondenti per i soli impianti di conversione energetica (M€)	45 - 53	68 - 83
Risparmio energetico finale (su 10 anni) per unità di capitale investito(GJ/k€)	290 - 350	300 - 370
<i>Risparmio energetico finale (su 10 anni) per unità di capitale investito (GJ/MLit)</i>	<i>145 - 175</i>	<i>150 - 185</i>
Emissioni evitate complessive (su 10 anni) per unità di capitale investito(te _{CO2} /k€)	22 - 26	22 - 28
<i>Emissioni evitate complessive (su 10 anni) per unità capitale investito (te_{CO2}/MLit)</i>	<i>11 - 13</i>	<i>11 - 14</i>

Situazione dello sfruttamento del biogas nella regione Campania e sviluppi previsti

Una parte significativa del potenziale energetico legato al recupero del biogas da discarica è già attualmente sfruttata negli impianti elencati di seguito (si precisa che l'elenco potrebbe essere incompleto, in quanto basato su un'indagine che non ha coperto il 100% delle discariche esistenti sul territorio).

- Discarica di Caserta - località Uttano: N. 2 M.A. da 750 kW ciascuno, in esercizio dal 1996.
- Discarica di Palma Campania - Località Iovino: 2 M.A. da 750 kW ciascuno in esercizio dal 1996.
- Discarica di Maruzzella a S.Tammaro (CE): N. 2 M.A. da 750 kW ciascuno.
- Discarica AB&F (CE) - EcoGas S.r.l.: M.A. da 730 kW, in esercizio dal 1996.
- Discarica di Terzigno (NA) - Progetto Energia: N. 1 M.A. da 800 kW, in esercizio dal 1996.
- Discarica So.GE.RI. - ICQ S.r.l.: N. 1 M.A. da 500 kW, in esercizio dal 1998.
- Discarica di Pianura - celtica Ambiente: N. 1 M.A. da 1000 kW, in esercizio dal 1999.

- Discarica di Caserta - Telecogen/Marcopolo: N. 2 M.A. da 800 kW ciascuno, in esercizio dal 2000.
- Discarica di Caserta, ampliamento - Telecogen/Marcopolo: N. 1 M.A. da 800 kW ciascuno, in esercizio dal 2001.
- Discarica di Montecorvino (SA) - Elettrogas: N. 1 M.A. da 1050 kW, in esercizio dal 2001.
- Discarica di Montecorvino, ampliamento (SA) - Elettrogas: N. 1 M.A. da 1050 kW, in esercizio dal 2001.
- Discarica di Benevento - SEI Cogen: N. 1 M.A. da 800 kW, in esercizio dal 2002.
- Discarica di Saurino - SEI Cogen: N. 2 M.A. da 800 kW, in esercizio dal 2002.

La potenza complessivamente installata ammonta a quasi 15 MW elettrici, con una produzione elettrica media stimabile in $90 \div 100$ GWh/anno, corrispondenti a circa il 18% dell'intera produzione italiana attuale, ed al $30 \div 40\%$ della disponibilità teorica stimata (a seconda che si faccia riferimento allo scenario minimo o a quello massimo).

Per quanto riguarda gli sviluppi previsti nell'immediato futuro, va segnalato che diverse nuove iniziative, finalizzate allo sfruttamento del biogas come risorsa energetica, sono attualmente in avanzata fase di realizzazione.

Presso le discariche di Tufino (Paenzano 1 e 2, rispettivamente con circa 1.350.000 e 1.250.000 t di rifiuti abbancate), e di Palma Campania - Pirucchi (circa 800.000 tonnellate abbancate), è prevista l'installazione di impianti di potenza non ancora definita, ma orientativamente dell'ordine di 1500 kW elettrici, sia per Paenzano 1 che per Paenzano 2, e circa 1000 kW elettrici, per Palma Campania., per un totale di circa 4,0 MW di nuova installazione. Gli impianti saranno realizzati mediante *project financing*, e dunque senza gravare su fondi pubblici.

Una ulteriore iniziativa, di particolare interesse per la complessità del progetto e per i suoi contenuti tecnico-scientifici, è in corso presso le discariche di Masseria del Pozzo, Masseria Ampliamento e Schiavi di Giugliano (NA). Essa prevede l'installazione di quattro motori alternativi, una turbogas ed una Cella a Combustibile, per complessivi 7,0 MW circa. Anche in questo caso, l'entrata in esercizio è prevista per la fine del 2002.

Le iniziative appena menzionate consentiranno di produrre complessivamente, per i prossimi 10 anni circa, almeno $60 \div 70$ GWh/anno di energia elettrica, bruciando circa 40 milioni di metri cubi di biogas per anno, risparmiando $0,55 \div 0,65$ milioni di GJ/anno di energia primaria da fonti fossili e permettendo una riduzione netta delle emissioni di gas serra, rispetto all'ipotesi di combustione in torcia della stessa quantità di biogas, di circa 45.000 tonnellate equivalenti di CO₂ l'anno.

Si può quindi concludere, considerando anche gli sviluppi a breve termine appena descritti, che nella regione è già attualmente previsto lo sfruttamento di una percentuale decisamente significativa (almeno il $50 \div 60\%$) del potenziale energetico teorico del biogas di discarica.

Un ulteriore, significativo incremento di questa percentuale è certamente possibile ed auspicabile, data la notevole rilevanza di questa fonte sotto il profilo energetico e ambientale.

Tuttavia, i margini di sviluppo ancora disponibili, una volta che siano state realizzate le iniziative di Tufino, Palma Campania e, soprattutto, Giugliano, non sono particolarmente elevati, e possono ragionevolmente stimarsi in ulteriori 10 ÷ 20 MW elettrici.

Va inoltre osservato che, alla luce della attuale impostazione del sistema di smaltimento dei rifiuti urbani, che prevede lo smaltimento in discarica esclusivamente per la frazione secca degli stessi rifiuti, la risorsa energetica rappresentata dal biogas di discarica deve essere considerata come provvisoria, con esaurimento pressoché completo entro il 2010 - 2015.

Ad ogni modo, la regione Campania, di concerto con il Commissariato Straordinario per l'Emergenza Rifiuti, si renderà promotrice di un'indagine finalizzata ad individuare eventuali ulteriori possibilità di sfruttamento presso tutte le discariche di dimensioni significative, presenti sul territorio regionale, che non avessero ancora attivato iniziative in tal senso.

Quadro riepilogativo e conclusioni

Nelle tabelle 6, 7 e 8 sono riassunti, per maggiore comodità di consultazione, i principali risultati delle analisi effettuate nel presente paragrafo, con particolare riferimento agli aspetti energetici ed ambientali.

Le analisi effettuate mostrano in modo inequivocabile l'importanza del raggiungimento degli obiettivi del Piano Regionale di Smaltimento dal punto di vista energetico ed ambientale.

La sola realizzazione delle due centrali di termovalorizzazione attualmente in costruzione, per una capacità totale di circa 200 MW elettrici, permetterà di incrementare la potenza elettrica installata in regione di quasi il 7%, rispetto ai valori del 2000. Se si considerano le sole fonti energetiche rinnovabili, tale incremento percentuale sale al 13% circa. In termini di produzione netta di energia elettrica, gli 840 GWh/anno previsti a regimi per la termovalorizzazione corrispondono al 17% del valore regionale complessivo, ed al 38% della quota relativa alle sole fonti rinnovabili (assumendo sempre come riferimento l'anno 2000). Il conseguente risparmio di energia primaria da fonti fossili convenzionali (160 ktep/anno) corrisponde a circa l'1,8% del consumo interno lordo di energia dalla Campania, mentre la riduzione delle emissioni di anidride carbonica (almeno 500.000 t/anno) è superiore al 3% (rispetto ai valori del 1998).

Per quanto riguarda il settore del riciclaggio (tabella 7), il risparmio energetico stimato va da 3,7% al 6,0%, ed il contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra dall'8,6% al 12%. Questi risultati inducono a considerare il raggiungimento dei livelli minimi di raccolta differenziata, riutilizzo dei materiali, produzione di RDF e termoutilizzazione previsti dal Piano Regionale di Smaltimento come un obiettivo strategico assolutamente prioritario, anche dal punto di vista energetico. Per quanto riguarda in particolar modo il settore della raccolta differenziata e del riciclaggio, considerata la grande valenza del recupero e riutilizzo dei materiali dal punto di vista energetico ed ambientale, sarebbe anzi auspicabile il superamento della soglia minima prevista dal D.L. 22/97: tutti gli sforzi possibili dovrebbero essere compiuti in tal senso, seguendo l'esempio di altre regioni Italiane, come la Lombardia, ed Europee.

Infine, il contributo previsto per i nuovi impianti di utilizzazione energetica del biogas di discarica, già in via di realizzazione al febbraio 2002 (tabella 8), è di ulteriori 11 MW elettrici e 70 ÷ 80 GWh/anno, corrispondenti, rispettivamente, allo 0,7% ed al 3,4% circa della potenza installata e della produzione elettrica relativi alle fonti rinnovabili, con un risparmio energetico dello 0,2% ed una riduzione delle emissioni di CO₂ equivalente dello 0,3%. In questo caso, va però ricordato che gli interventi presentano carattere temporaneo, e non strutturale, in quanto la disponibilità del biogas sarà limitata ai prossimi 10 ÷ 15 anni. Esistono comunque margini per incrementare ulteriormente lo sfruttamento di questa fonte nei prossimi anni.

**Tabella 6 - Risparmio energetico e produzione di energia dai rifiuti in Campania:
comparto della conversione energetica.**

Potenza elettrica complessiva in via di installazione	200 MW
Produzione media annua	840 GWh/anno
Risparmio netto di energia primaria da fonti fossili convenzionali ^a	$7,5 \times 10^6$ GJ/anno = 180 ktep/anno
Rapporto risparmio energetico/costo netto raccolta indifferenziata e conferimento ^b	72 GJ/k€ = (36 GJ/MLit)
Contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra ^c	500.000 ÷ 650.000 te _{CO2} /anno
Rapporto emissioni evitate/costo netto raccolta indifferenziata e conferimento ^b	6 ÷ 8 te _{CO2} /k€ (3 ÷ 4 te _{CO2} /MLit)

^a *Il risparmio viene calcolato al netto dei consumi dei processi di produzione del RDF.*

^b *Il valore è solo indicativo, in quanto i costi non sono direttamente ed esclusivamente imputabili al risparmio energetico ed alle emissioni evitate.*

^c *Rispetto allo smaltimento in discarica controllata con recupero ed utilizzazione del biogas, di livello tecnologico medio/alto.*

**Tabella 7 - Risparmio energetico e produzione di energia dai rifiuti in Campania:
comparto della raccolta differenziata/riciclaggio**

Risparmio energetico netto conseguente al riciclaggio ^a	$14 \div 22 \times 10^6$ GJ/anno = 330 ÷ 530 ktep/anno
Rapporto risparmio energetico/costo netto raccolta differenziata ^b	400 ÷ 500 GJ/k€ (200 ÷ 250 GJ/MLit)
Contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra ^c	1.300.000 ÷ 1.750.000 te _{CO2} /anno
Rapporto emissioni evitate/costo netto raccolta differenziata ^b	24 ÷ 34 te _{CO2} /k€ (12 ÷ 17 te _{CO2} /MLit)

^a *Incluso il recupero di materiali nella produzione di RDF*

^b *Il valore è solo indicativo, in quanto i costi non sono direttamente ed esclusivamente imputabili al risparmio energetico ed alle emissioni evitate.*

^c *Rispetto allo smaltimento in discarica controllata con recupero ed utilizzazione del biogas, livello tecnologico medio/alto.*

Tabella 8 - stima del risparmio energetico e della produzione di energia dai rifiuti in Campania: utilizzazione del biogas di discarica.

IMPIANTI ATTUALMENTE IN ESERCIZIO	
Potenza elettrica	15 MW
Produzione elettrica	90 ÷ 100 GWh/anno
Risparmio di energia primaria da fonti fossili convenzionali ^a	$0,83 \div 0,92 \times 10^6$ GJ/anno = 20 ÷ 22 ktep/anno
Contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra ^b	60.000 ÷ 67.000 te _{CO2} /anno
IMPIANTI IN VIA DI REALIZZAZIONE AL FEBBRAIO 2002	
Potenza elettrica prevista	11 MW
Produzione elettrica prevista	70 ÷ 80 GWh/anno
Risparmio di energia primaria da fonti fossili convenzionali ^a	$0,65 \div 0,75 \times 10^6$ GJ/anno = 16 ÷ 18 ktep/anno
Contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra ^b	50.000 ÷ 55.000 te _{CO2} /anno
ULTERIORE POTENZIALE TEORICO DISPONIBILE	
Potenza elettrica	10 ÷ 30 MW
Produzione elettrica	60 ÷ 180 GWh/anno
Risparmio di energia primaria da fonti fossili convenzionali ^a	$0,54 \div 1,7 \times 10^6$ GJ/anno = 13 ÷ 41 ktep/anno
Contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra ^b	40.000 ÷ 120.000 te _{CO2} /anno
Investimenti richiesti ^c	12 ÷ 45 M€ = 24.000 ÷ 90.000 MLit
Potenziale di risparmio energetico per unità di capitale investito ^c	300 ÷ 450 GJk/€ = 150 ÷ 220 GJ/MLit
Potenziale di emissioni evitate di gas serra per unità di capitale investito ^c	27 ÷ 33 te _{CO2} /k€ = 13 ÷ 17 te _{CO2} /MLit

^a Rendimento convenzionale di riferimento 0,391.

^b Valore medio rispetto alla combustione in torcia della stessa quantità di biogas.

^c Gli investimenti sono riferiti ai soli extra-costi direttamente imputabili all'utilizzo energetico del biogas. L'orizzonte temporale è di 10 anni.