

I rifiuti come risorsa: strumenti di supporto alle decisioni per l'ottimizzazione del ciclo integrato dei rifiuti

Oriana Romano
Dipartimento di Scienze Sociali
Università degli Studi di Napoli "L'Orientale"
oromano@unior.it

Abstract: A partire dal concetto dei rifiuti come risorsa, obiettivo del lavoro è illustrare un supporto decisionale alla fase di programmazione degli interventi per la razionalizzazione del servizio di igiene urbana. L'impiego congiunto di strumenti di calcolo e di modellistica consente di formulare strategie operative di coordinamento tra domanda e offerta, considerando le implicazioni che ne derivano in termini di sviluppo locale. Il servizio di igiene urbana richiede una visione e una pianificazione necessariamente centralizzata ed integrata da parte di un soggetto pubblico, cui può seguire un modello gestionale anche decentrato e partecipato, compatibilmente con la presenza di obiettivi molto differenziati riconducibili ad un'ampia nozione di sostenibilità ambientale, oltre che economico-finanziaria.

1. I rifiuti come risorsa: implicazioni per lo sviluppo locale

La strategia fortemente sostenuta dall'Unione Europea¹ e perseguita dai Paesi più virtuosi in tema di gestione di rifiuti è quella di ridurre lo smaltimento in discarica e privilegiare il riciclo. Ciò implica che i rifiuti, da elementi nei confronti dei quali l'azione principale da adottare è quella di provvedere al loro smaltimento, diventano delle risorse da reinserire nei cicli produttivi, sia in termini di energia che di materie prime secondarie, favorendo lo sviluppo di modelli efficienti di produzione, in grado di ridurre la dissipazione del capitale naturale².

A livello locale, la presenza di impianti di recupero dei rifiuti potrebbe innescare processi di specializzazione, basati su legami di acquisto/vendita (input/output) tra le imprese stesse (Camagni R. (1993), favorendo la concentrazione di imprese ad attività interconnesse anche in contesti non particolarmente dotati di risorse endogene da valorizzare e nei quali tale concentrazione di imprese non avrebbe altrimenti motivo di realizzarsi.

L'indisponibilità di tali risorse (economiche, culturali, politiche, fisiche) ha inevitabilmente comportato una disparità tra territori, dando vita ad un filone di studi che si è interrogato non solo sul ruolo dello spazio nell'economia, ma anche sui meccanismi in base ai quali le imprese

¹ Obiettivo ultimo, in materia di rifiuti, secondo l'Unione Europea, è quello di diventare una società fondata sul riciclo. Particolarmente importanti per la realizzazione di tale obiettivo sono il concetto di "disaccoppiamento" (*decoupling*) e di gerarchia dei rifiuti: con il primo si intende spezzare il nesso tra crescita economica, uso delle risorse e produzione di rifiuti [Cfr. Presidenza consiglio europeo di Göteborg 15 e 16 giugno 2001, SN 200/1/01; la crescita economica deve andare di pari passo con un utilizzo delle risorse naturali e una produzione di rifiuti che siano sostenibili; si deve migliorare la produttività delle risorse in tutta l'economia dell'Unione Europea e contemporaneamente ridurre gli impatti ambientali negativi per unità di risorsa utilizzata, mantenendosi al di sotto della soglia di sovra-sfruttamento per le risorse rinnovabili (Cfr. COM 205/666: "Portare avanti l'utilizzo sostenibile delle risorse: una strategia tematica sulla prevenzione e il riciclaggio dei rifiuti"). Con il secondo l'Unione Europea ha stabilito una gerarchia preferenziale delle operazioni di gestione dei rifiuti (Cfr. Direttiva 2008/98.). La stessa prevede che per passare ad una società in cui prevalgano il riciclaggio e il recupero, riducendo progressivamente lo smaltimento in discarica, è necessario salire una scala gerarchica, alla cui base vi è la prevenzione, che mira a limitare la produzione stessa dei rifiuti.

² In relazione ai concetti di sostenibilità debole e forte, il capitale naturale può essere considerato come sostituibile con altri fattori di produzione e pertanto l'utilizzo di risorse non rinnovabili si considera ammissibile ad un tasso compatibile con il progressivo ricorso a risorse sostitutive rinnovabili; al contrario se si considera il capitale naturale come intrinsecamente più necessario per sostenere l'attività economica lo *stock* di risorse non rinnovabili, non deve essere degradato (Turner R.K., Pearce D.W., Bateman I, 2003).

determinano le proprie scelte localizzative e sugli effetti che queste hanno sul territorio di riferimento.

In particolare i contributi degli economisti classici del sottosviluppo regionale (Perroux F., 1955), sono stati ripresi dalla “Nuova Geografia Economica” (di seguito NEG), che ha nel contributo di Krugman P. (1991) il suo principale riferimento. Secondo la NEG i differenti percorsi di sviluppo tra le regioni, in base ai quali si effettua una distinzione tra Regioni centrali e Regioni periferiche, non sono diretta conseguenza della disponibilità o meno di risorse endogene, che egli chiama di *first-nature*, bensì sono determinati dalle dinamiche d’impresa. Queste ultime effettuano le proprie scelte localizzative, in base a vantaggi di *second-nature*, fattori e parametri economici (livello dei costi di trasporto, vantaggi nei costi di produzione, mobilità dei fattori³) che determinano le condizioni per il processo di agglomerazione ed interconnessione. Tale processo si auto-alimenta: una volta installatosi nella regione un certo numero di imprese, altre troveranno vantaggioso effettuare la stessa scelta localizzativa, considerando le connessioni tra fornitori, produttori e consumatori⁴. Ciò non comporta l’irreversibilità del processo: al mutare dei parametri le periferie possono svilupparsi fino a diventare centri e viceversa (principio di reversibilità della geografia).

Coerentemente con tali premesse teoriche e dei vantaggi, non solo di natura economica, che derivano da una corretta gestione dei rifiuti, in questo lavoro si affronta il problema della programmazione del servizio di igiene urbana e della sua realizzazione in maniera decentrata e partecipata. La modellizzazione del caso⁵ e l’impiego congiunto di tecniche di calcolo per la valutazione degli impatti, consentono di formulare strategie operative di coordinamento tra domanda e offerta, in un’ottica di razionalizzazione del servizio, laddove lo stesso mostri casi di evidente inefficienza.

Le inefficienze si palesano, dal punto di vista dell’offerta, nella totale assenza o, tutt’al più, nella presenza di insufficienti strutture impiantistiche preposte al trattamento dei rifiuti raccolti e dal punto di vista della domanda, nella totale assenza di collaborazione da parte dell’utenza nell’effettuare la raccolta dei rifiuti in maniera differenziata, con ripercussioni negative sull’impatto ambientale: a livelli di raccolta differenziata bassi, infatti, segue un maggiore ricorso alla discarica e un minore recupero di materia, conseguenze che la legislazione ambientale in materia induce ad evitare.

La causa di tale comportamento è in gran parte attribuibile al sistema attuale di finanziamento del servizio, caratterizzato dall’impiego di una tassa, completamente disgiunta dal quantitativo e dalla tipologia di rifiuti raccolti e pertanto non incentivante. La mancanza di incentivazione comporta un costo marginale privato pari a zero: conferire una maggiore quantità di rifiuti non implica un costo aggiuntivo per l’utente, né lo induce a differenziare.

³ Il possibile sviluppo di nuove attività produttive in una regione periferica richiede che il livello dei costi di trasporto renda possibile e conveniente spostare produzioni per servire il mercato di origine; che ci sia un vantaggio nei costi di produzione; che si formi una ragionevole aspettativa di successo dell’area, incentivando lo spostamento, ad esempio come risultato di forme di intervento pubblico, volte a creare e a rafforzare le dinamiche di mercato (Cfr. Viesti G, 2000).

⁴ “Contro queste forze agglomeranti lavorano forze antagoniste di tipo diffusivo. Per esempio, la concentrazione di attività produttive può dare luogo a incrementi delle rendite e del prezzo delle case, come a problemi ambientali. Inoltre, se fattori della produzione immobili restano concentrati nelle regioni periferiche, imprese attive nella regione centrale possono trovare conveniente ricollocarsi nelle periferiche. I processi di agglomerazione e di diffusione risultano in definitiva dal bilanciamento di queste forze centripete e centrifughe” (Schmutzler A., 1999, p. 356).

⁵ Il modello a supporto delle decisioni, attraverso cui è rappresentato il problema, sebbene estremamente esemplificato rispetto alla realtà, in quanto determinato a partire da assunzioni verosimili, è facilmente adattabile, nella sua strutturazione, a casi reali e più complessi.

2. Un modello per la gestione del sistema integrato dei rifiuti urbani

Nel modello proposto, dal punto di vista dell'offerta, si ipotizza che il soggetto pubblico voglia basare la programmazione del ciclo integrato dei rifiuti sulla strategia funzionale di realizzare una piattaforma logistica ove concentrare la localizzazione degli impianti di trattamento. Essendo la piattaforma un'area divisibile in diverse destinazioni d'uso, da centro di valorizzazione di rifiuti, potrebbe agevolmente trasformarsi in una vera e propria area industriale: gli *output* generati dagli impianti, infatti, rappresenterebbero un forte incentivo per le attività industriali, in grado di utilizzarli come fonte di approvvigionamento, a localizzarsi nella stessa area⁶, favorendo, così, un contesto di crescita cumulativa.

La volontà di intendere il servizio come un ciclo integrato e di favorire un'azione partecipata e collaborativa da parte dei soggetti coinvolti nel sistema, è la *ratio* alla base del passaggio dalla tassa alla tariffa⁷, strategia operativa sul lato della domanda. L'intento è conseguire il passaggio da uno strumento di acquisizione delle risorse basato esclusivamente sul raggiungimento di un obiettivo di equilibrio finanziario, temperato da obiettivi di equità, ad uno volto all'efficiente allocazione delle risorse, attraverso il controllo della domanda. La tariffa, intesa come prezzo d'uso, deve essere tale da realizzare un determinato livello di raccolta differenziata (obiettivo di sostenibilità ambientale), considerato ottimale per la gestione dell'intero sistema⁸.

Dunque l'offerta impiantistica è strettamente legata alla tariffa: dal quantitativo e dalla tipologia di rifiuti conferiti dipendono il dimensionamento degli impianti e la tecnologia da impiegare per il trattamento; mentre il quantitativo e la tipologia di rifiuti conferiti sono strettamente legati alla struttura e al livello della tariffa. Il problema del *decision maker*, a questo punto, è individuare qual sia il quantitativo di rifiuti che ottimizza il sistema e quindi individuare la tariffa che consenta di ottenere tale quantitativo, incidendo sui comportamenti degli utenti.

Per raggiungere quest'obiettivo la tariffa deve essere incentivante, ma la misura dell'incentivazione, in questo caso corrispondente ad uno sconto applicabile sulla parte variabile della tariffa⁹, deve essere stabilita verificando, *in primis*, le conseguenze che si determinerebbero sul sistema.

Se l'obiettivo di una incentivazione tariffaria è il conseguimento di una maggiore percentuale media di raccolta differenziata, infatti, non si può prescindere dal considerare le implicazioni che una tale manovra potrebbe avere in termini di impatti economici, ambientali ed energetici. In particolare,

⁶ Le imprese potrebbero trovare vantaggioso localizzarsi nella piattaforma, sfruttando il capitale fisso localizzato (infrastrutture di comunicazione, di trasporto, fornitura di energia, ecc.); i servizi di base per la fruizione (reti fognarie interne, reti interne gas, acqua potabile ed industriale; rete di teleriscaldamento interno; rete antincendio; rete elettrica ed impianti di illuminazione; rete informatica; sagomatura terreno; strade, piazzali, parcheggi, recinzioni e piantumazioni) e le materie prime secondarie derivanti dai processi di trasformazione degli scarti.

⁷ Il Decreto Ronchi, nel 1997, ha istituito formalmente il passaggio dalla tassa alla tariffa (tariffa di igiene urbana). Attualmente disciplinata dall'art.238 del D.Lgs. 152/2006, la tariffa costituisce il corrispettivo per lo svolgimento del servizio di raccolta, recupero e smaltimento dei rifiuti solidi urbani. La tariffa è composta da una quota determinata in relazione alle componenti essenziali del costo del servizio, riferite in particolare agli investimenti per le opere ed ai relativi ammortamenti, nonché da una quota rapportata alle quantità di rifiuti conferiti, al servizio fornito e all'entità dei costi di gestione, in modo che sia assicurata la copertura integrale dei costi di investimento e di esercizio. La tariffa per la gestione dei rifiuti urbani, non si è ancora affermata come unica forma di finanziamento del servizio, per il procrastinarsi dell'attuazione formale del passaggio da una forma di finanziamento all'altra, dovuta a Leggi finanziarie che anno dopo anno ne hanno rimandato la concretizzazione.

⁸ Il costrutto teorico di riferimento è la Teoria generale delle tariffe (Trezza B., Moesh G., Rostirolla P., 1978). Quest'ultima sostiene che le tariffe rappresentano uno strumento di controllo della domanda per realizzare l'allocazione efficiente delle risorse in maniera decentralizzata, ovvero il prezzo efficiente che consente, a partire dagli obiettivi assegnati dal politico alla gestione dell'impresa, di realizzare l'allocazione efficiente in maniera decentralizzata, riferita a quegli obiettivi. In sostanza gli autori ritengono necessario individuare il ruolo delle tariffe, in maniera indipendente dagli specifici obiettivi perseguiti all'interno del sistema: qualunque sia il sistema di riferimento non cambia il ruolo che le tariffe vengono a svolgere, né il criterio con cui esse vengono computate.

⁹ Nella simulazione si ipotizza che sulla parte variabile sia applicabile una determinata percentuale di sconto, per il conferimento di rifiuti differenziati. I rifiuti indifferenziati sono considerati residuali e inclusi nella parte fissa.

una volta formulate possibili ipotesi di sconto da applicare sulla parte variabile di una tariffa di “base”¹⁰, opportunamente calcolata, e definita un’ipotesi di comportamento sul mercato degli utenti coinvolti, presumibilmente si verificheranno i seguenti impatti, suddivisi per soggetti coinvolti:

- per gli utenti: un beneficio in termini di risparmio sulla quota variabile della tariffa, rispetto alla tariffa “base”;
- per l’ente pubblico: un minore rientro tariffario all’aumentare del livello di raccolta differenziata, accompagnata da un aumento dei costi gestionali e di investimento, con conseguenze sul fabbisogno finanziario, fino a generare disavanzi di gestione;
- per la collettività: un miglioramento della situazione ambientale, dal momento che la raccolta differenziata riduce il ricorso alla discarica e consente di recuperare materia dagli scarti;
- per gli operatori: minori ricavi derivanti dalla vendita sul mercato dell’energia elettrica, la cui produzione dipende dai rifiuti indifferenziati e maggiori ricavi derivanti dalla vendita di materie prime secondarie, derivanti dal trattamento dei rifiuti differenziati.

Il livello di quantità ottimo di raccolta differenziata può essere definito in relazione alle priorità del *decision maker* e della comunità di riferimento; poi, sulla base degli impatti sui diversi obiettivi perseguiti, si sceglierà la struttura tariffaria che realizza il miglior compromesso tra essi e in grado di trasmettere agli operatori gli opportuni segnali per realizzare il sistema, così come programmato. Tale operazione consente la realizzazione di un sistema efficiente negli aspetti dell’offerta e della domanda. Sinteticamente i principali impatti, rispetto alla situazione non gestita, sono riportati nella tabella 1.

Tabella 1: La situazione "senza" e la situazione "con"

Soggetti	Situazione SENZA			Situazione CON		
	Economici	Sociali	Ambientali	Economici	Sociali	Ambientali
Collettività	Costi sociali elevati conseguenza di una gestione inefficiente	Impatti negativi sulla salute e sulla vivibilità	Inquinamento aria, acqua, suolo	Costi sociali ridotti	Riduzione impatti negativi sulla salute e sulla vivibilità	Aumento di raccolta differenziata; minore ricorso alla discarica; riduzione inquinamento
Amministrazione	Inefficienze gestionali, con spreco di risorse, per la mancata valorizzazione dei rifiuti.	Opposizione sociale		Rientri tariffari minori al crescere dello sconto; aumento dei costi gestionali e di investimento, risparmio costi energetici per l'immissione in rete dell'energia elettrica generata dagli impianti	Riduzione dell'opposizione sociale, in seguito ad opportune scelte gestionali	
Utenti	Alti costi sostenuti per il finanziamento del servizio	Qualità del servizio non elevata		Risparmio sulla quota variabile della tariffa	Miglioramento della qualità del servizio offerto	
Imprese	Scarso coinvolgimento nella gestione del servizio	Assenza di stimoli allo sviluppo locale		Coinvolgimento delle imprese nella gestione della fase di trattamento	Forti stimoli allo sviluppo locale	

¹⁰In prima istanza può essere determinata una tariffa “fissa”, tipo tassa, in grado di realizzare l’equilibrio finanziario differenziando tra i diversi utenti del servizio, sulla base di parametri oggettivi utilizzati come *proxy*, dei conferimenti presunti di rifiuti.

3. L'approccio procedurale e l'impiego della programmazione multiobiettivo a supporto delle decisioni

Il problema decisionale, così come sopra illustrato, implica la necessità di:

- scegliere tra le combinazioni impiantistiche più idonee per la costituzione della piattaforma, sia in relazione a vincoli esogeni, di compatibilità ambientale e accettabilità sociale, sia in relazione a vincoli tra le variabili, che consentano di selezionare le alternative in base ai rifiuti trattati e alla dimensione degli impianti;
- determinare il fabbisogno finanziario e calcolare la tariffa di base, volta al raggiungimento dell'equilibrio finanziario
- prevedere diverse ipotesi tariffarie che, a partire dalla tariffa di base, si distinguano per l'entità dello sconto applicato sulla parte variabile; sconti tali da incentivare gli utenti a realizzare determinati livelli di raccolta differenziata, comportando conseguenze anche sulle performance degli impianti di trattamento, relativamente agli output prodotti, essendo le loro performance conseguenza della tipologia e della disponibilità di rifiuti trattati;
- scegliere la tariffa incentivante che realizza il miglior compromesso tra gli obiettivi socialmente rilevanti.

La scelta delle tecniche di aiuto alla decisione è strettamente legata alla natura e alla complessità del problema decisionale che si sta affrontando.

L'approccio proposto per la selezione degli impianti e della tariffa incentivante ideale fa ricorso alle tecniche di programmazione matematica multiobiettivo con variabili binarie¹¹. L'impiego di tale tecnica consente di svolgere contemporaneamente la fase di generazione di possibili aggregazioni delle componenti elementari del progetto e quella di valutazione degli impatti sugli obiettivi rilevanti, al fine di leggere i costi e i benefici associati alle combinazioni costituite dai diversi interventi e di convergere verso una soluzione di miglior compromesso in termini di realizzazione di obiettivi conflittuali. Trattasi, in breve, di un modello interattivo decisore/analista ove il decisore, attraverso una serie di passi di calcolo e di decisione, viene portato ad individuare, se esiste, una soluzione di compromesso soddisfacente tra i vari obiettivi perseguiti, valorizzando tutte le informazioni acquisite nella fase di analisi e quelle generate nelle fasi di proposta e di selezione¹².

Il calcolo del *vettore ideale* rappresenta il primo passo della procedura: è costituito dal valore ottimo di ciascun obiettivo, ottenuto massimizzando o minimizzando la funzione obiettivo ad esso associata, senza l'aggiunta di nessun vincolo sul perseguimento degli altri, ma considerando esclusivamente i vincoli esogeni. Il vettore ideale è una soluzione impossibile da realizzare, essendo gli obiettivi in contrasto tra di loro, ma è il valore di riferimento per il calcolo della soluzione di miglior compromesso: ottenuto il vettore ideale, scelta la funzione obiettivo da minimizzare o massimizzare, si introducono progressivamente dei vincoli sul livello di conseguimento degli altri obiettivi e si generano di volta in volta (passi¹³) nuove soluzioni da valutare calcolandone la distanza rispetto alla soluzione ideale. Se il livello di conseguimento di un obiettivo viene giudicato,

¹¹La tecnica prende spunto dai fondamenti della programmazione per obiettivi (*Goal Programming*): tra i metodi risolutivi della programmazione multi obiettivo, il *Goal Programming* rientra nei cosiddetti "Metodi a priori", nei quali il decisore specifica le sue preferenze prima che abbia inizio il processo risolutivo. In base alle informazioni avute dal decisore viene direttamente trovata la soluzione.

¹² Concettualmente l'analisi multi-obiettivo può essere divisa in due fasi: una fase analitica ed una fase di scelta. Alla fase analitica sono associati i modelli matematici, le tecniche di ottimizzazione e tutti quegli aspetti deterministici e quantificabili (fase oggettiva); la fase di scelta, viceversa, è associata a quegli aspetti indeterministici e non quantificabili dove la decisione dipende dalla struttura delle preferenze del decisore (fase soggettiva) (Rostirolla P., 1992).

¹³ Introducendo i vincoli si determinano degli scenari di soluzione o passi, che possono differenziarsi l'uno dall'altro anche per l'entità che ciascun vincolo può assumere ad ogni passo. La necessità di perseguire obiettivi contrastanti, infatti, può comportare che uno stesso vincolo venga progressivamente modificato, ad esempio sia più o meno stringente, rispetto alle ipotesi iniziali.

comparativamente con gli altri, come insoddisfacente, allora il decisore può introdurre un ulteriore vincolo sul livello di conseguimento di quell'obiettivo finché non si raggiunga, se esiste, una soluzione soddisfacente, ove tutti gli obiettivi hanno conseguito un livello almeno soddisfacente, che rappresenta per il decisore il miglior compromesso possibile nella realizzazione degli obiettivi conflittuali.

L'applicazione fornisce soluzioni Pareto ottimali¹⁴, per cui la scelta finale è quella più desiderabile in base ai fattori e alle priorità di cui il decisore vuole tenere conto.

4. Dal piano finanziario alla tariffa incentivante

Il punto di partenza della procedura, le cui fasi sono fortemente integrate tra di loro, è la definizione del piano finanziario: l'obiettivo è verificare e valutare la situazione finanziaria del servizio di gestione integrata, così come definito dall'ente ed ottenere il fabbisogno finanziario, da cui calcolare il gettito tariffario e la tariffa di base, suddivisa in quota fissa e in quota variabile.

Il fabbisogno è determinato valutando le uscite e le entrate relative a diversi sottosistemi, che costituiscono l'intero ciclo dei rifiuti.

Tali sottosistemi sono rappresentati dal servizio di raccolta, pre-trattamento (selezione) e smaltimento in discarica da un lato e trattamento dall'altro. I primi rappresentano fasi necessarie all'espletamento del servizio, ma di supporto a quella di trattamento, da svolgere all'interno della piattaforma polifunzionale ed integrata.

Il sistema di gestione integrata, di cui è responsabile l'ente pubblico, comprende l'intero servizio della raccolta, l'impianto di selezione dei rifiuti, la discarica e gli eco-centri, strutture preposte al conferimento, alla pesatura e al riconoscimento dei rifiuti differenziati da parte dell'utenza, così da collegare il quantitativo alla quota variabile della tariffa da pagare. Si ipotizza, invece, che gli impianti di trattamento, per la convenienza economica della gestione, siano affidati ai privati, in cambio del pagamento di un canone per la concessione, che rappresenta una fonte di ricavo per il soggetto pubblico che mette a disposizione l'area.

A partire dalla tariffa di base e scomponendo la domanda in gruppi sufficientemente differenziati, sulla base di valutazioni dell'elasticità dei conferimenti di differenziata in funzione della tariffa¹⁵, è possibile quantificare gli impatti associati a strutture tariffarie incentivanti diverse, aprioristicamente stabilite, sia in relazione alle *performance* degli impianti al variare del quantitativo e della tipologia di rifiuti raccolti, sia in termini di risparmio per gli utenti e di rientri per il soggetto pubblico.

¹⁴ Una soluzione ad un problema multicriteriale è detto essere Pareto ottimale se non c'è altra soluzione che è almeno altrettanto buona considerando tutti i criteri e strettamente migliore considerando almeno un criterio.

¹⁵ La scomposizione della domanda in gruppi di utenza omogenei al loro interno ed eterogenei all'esterno è utile per capire come varia la quantità di rifiuti conferiti in maniera differenziata ed indifferenziata da ciascuno al ridursi della parte variabile della tariffa e per comprendere l'entità del risparmio sulla tariffa, sia individuale (per gruppo), che collettivo. Ai fini della nostra simulazione, l'articolazione dei gruppi è stata la seguente:

- gruppo A: rappresenta il 25% della popolazione. Tale gruppo effettua, nella situazione di base, un livello di raccolta differenziata pari al 5%, che varia in maniera minima con il ridursi della quota variabile della tariffa: la modifica tariffaria non comporta evidenti cambiamenti rispetto al comportamento attuale;
- gruppo B: rappresenta il 20% della popolazione ed effettua in media il 15% di raccolta differenziata. E' sensibile a diminuzioni della tariffa, in relazione alle quali aumenterebbe la percentuale media di raccolta differenziata;
- gruppo C: rappresenta il 20% della popolazione ed effettua in media il 25% di raccolta differenziata. Rispetto al gruppo B, gli utenti di questo gruppo sono maggiormente sensibili a diminuzioni della tariffa;
- gruppo D: è il gruppo più numeroso, costituito dal 35% della popolazione. La percentuale di raccolta differenziata raggiunta da questo gruppo è del 35% in media. Questo gruppo effettuerebbe la raccolta differenziata a prescindere dallo sconto, che rappresenterebbe un'agevolazione economica, non particolarmente influente sul livello di raccolta differenziata, considerato già alto. Nel gruppo D rientra anche l'utenza non domestica, resa equivalente all'utenza domestica con un fattore di conversione pari a 1,5. Ragionevolmente si può sostenere che tale tipologia di utenza sarebbe maggiormente sensibile ad uno sconto sulla tariffa, per la particolare attenzione al bilancio che tali utenti riservano e per la loro attitudine a raccogliere in maniera differenziata scarti prodotti da specifiche attività.

Tabella 2: La tariffa di base

	utenti A	utenti B	utenti C	utenti D	Totale
Popolazione %	25%	20%	20%	35%	100%
Popolazione	27.293	21.835	21.835	38.210	109.173
Utenti non domestici equivalente				163.759	163.759
Popolazione Tot equivalente	27.293	21.835	21.835	201.970	272.932
Gettito tariffario					15.614.068
Quota variabile tariffa base	37				
Sconto	0%				
% RD	5%	15%	25%	35%	30%
RD	1.490	3.577	5.961	77.193	88.220
RI	28.314	20.267	17.883	143.358	209.821
Totale rifiuti	29.804	23.843	23.843	220.551	298.042
Elasticità di prezzo	0,4	0,7	1,0	1,5	
Tariffa fissa	468.422	374.738	374.738	3.466.323	4.684.220
Tariffa variabile	1.092.985	874.388	874.388	8.088.087	10.929.847
Totale tariffa	1.561.407	1.249.125	1.249.125	11.554.410	15.614.068

Il livello di raccolta differenziata varierà in relazione alle ipotesi di sconto e all'elasticità dei gruppi, più o meno sensibili alla riduzione tariffaria. A parità del livello di sconto sulla parte variabile per tutte le categorie considerate, essendo la parte variabile della tariffa commisurata alla quantità conferita, quanto maggiore sarà quest'ultima, tanto più significativo sarà il risparmio sulla tariffa. Di seguito si riportano i risultati ottenuti nella nostra simulazione.

Tabella 3: Le ipotesi tariffarie

	T.base	T1	T2	T3	T4
Sconto	0%	10%	20%	30%	40%
Rifiuti differenziati (T/a)	88.220	100.705	113.190	125.675	138.160
Rifiuti differenziati %	30%	34%	38%	42%	46%
Rifiuti indifferenziati (T/a)	209.821	197.336	184.851	172.366	159.882
Rifiuti indifferenziati %	70%	66%	62%	58%	54%
Quota variabile/ Kg	37	33	29	26	22

Stabilite tali ipotesi sarà necessario scegliere quale tra queste rappresenta la tariffa incentivante ottimale, tale da indurre gli utenti ad assumere comportamenti virtuosi, volti ad ottimizzare il sistema di gestione integrata dei rifiuti.

5. L'Ottimizzazione vincolata per la selezione delle alternative impiantistiche

Data una generale offerta di trattamento e smaltimento dei rifiuti al modello è chiesto di scegliere, in base alla domanda, definita esogenamente (la quantità di rifiuti raccolta, tab. 4), quali impianti inserire nella piattaforma per garantire l'assolvimento del servizio.

Tabella 4: La quantità di rifiuti raccolta

	%	T/A
RD min	30%	89.413
RD max	46%	137.099
RI max	70%	208.629
RI min	54%	160.943

Nel caso dei rifiuti indifferenziati, la selezione degli impianti avviene in base alla tecnologia da preferire (termovalorizzatori, gassificatori, pirolizzatori e impianti al plasma), mentre per quelli differenziati, rispetto alla tipologia di rifiuto da trattare.

Tabella 5: la matrice dei dati

	U. d. M.	Termovalorizzatore	Plasma	...	Impianto carta	Impianto plastica	Impianto metalli	F.O.
Potenzialità annua	T/a	210.600	210.600	...	139.320	139.320	45.360	Max
Energia elettrica	Mwh/T	114.566	171.850	...	0	0	0	Max
Energia termica	Mwh/T	343.699	515.549	...	0	0	0	Max
Output vendibili	T/a	0	0	...	125.388	125.388	40.824	Max
Personale	num.	33	33	...	23	23	13	Max
Co	T/a	44	31	...	12	20	5	Min
Co2	T/a	182.634	127.844	...	48.328	80.546	19.668	Min
N2o	T/a	63	44	...	17	28	7	Min
NMVO	T/a	291	203	...	77	128	31	Min
Nox	T/a	727	509	...	192	320	78	Min
So2	T/a	246	172	...	65	109	27	Min
Costi di investimento	€/a	60.000.000	48.000.000	...	10.794.000	26.325.000	9.000.000	Min
Costi di esercizio	€/a	18.525.387	27.788.080	...	5.792.926	34.230.924	2.657.642	Min
Ricavi	€/a	26.464.838	39.697.258	...	8.275.608	48.901.320	3.796.632	Max
VAN	€	35.665.947	54.750.532	...	11.528.371	68.235.525	5.145.083	Max

Il problema in questione è individuare, indipendentemente dalla localizzazione, le alternative impiantistiche necessarie a realizzare un sistema integrato di gestione dei rifiuti e considerate idonee rispetto ad un determinato contesto territoriale, sia in relazione a vincoli esogeni, di compatibilità ambientale, sia in relazione a vincoli tra le variabili, che esprimono relazioni di dipendenza o esclusività¹⁶.

Un problema di programmazione lineare multi obiettivo è formalizzato in maniera tale da definire: le variabili decisionali; gli obiettivi, gli impatti sugli obiettivi e i vincoli. Le variabili decisionali del modello sono variabili binarie d'esistenza associate ai singoli elementi della decisione (interventi o gruppi di interventi). Nel caso delle alternative impiantistiche di trattamento si può indicare con " X_{ts} " la variabile d'esistenza associata al generico impianto da realizzare con la t-esima tecnologia ($t=1,..., T$) e nella dimensione s-esima ($s=1,...,S$). Individuato un set di "I" obiettivi e i coefficienti " C^i_{ts} ", che esprimono l'impatto generato dall'alternativa X_{ts} sull'obiettivo i-esimo, impatti di natura economico-finanziaria, ambientali, sociali, a seconda della natura dell'obiettivo i-esimo, si definisce la seguente funzione per l'obiettivo i-esimo, rappresentabile come combinazione lineare delle variabili decisionali X_{ts} secondo i coefficienti di prestazione " C^i_{ts} " [1]:

$$F_i(x) = \sum_{ts} C^i_{ts} * X_{ts} \quad \forall i = 1,...,I \quad [1]$$

Partendo dai *Business Plan*, tra gli indicatori " C^i_{ts} " associati a ciascuna alternativa avremo anche i consueti indicatori economici e finanziari (tab. 5). A questo punto il problema decisionale

¹⁶ I vincoli sulle variabili esprimono rapporti di reciprocità tra le variabili del modello: due impianti che trattano lo stesso rifiuto e di identica tecnologia, distinguibili solo in base alla dimensione, non possono essere realizzati insieme. Si inserisce questo vincolo per evitare che nella piattaforma confluiscono impianti uguali, differenti solo per dimensione. Naturalmente il modello potrebbe anche non scegliere quell'impianto di quella tecnologia. Altro vincolo riguarda la scelta degli impianti: il modello deve consentire di scegliere almeno un impianto a combustione e uno di trattamento, così da trattare le macro-categorie di rifiuti (indifferenziati e differenziati). Il modello potrebbe portare a scegliere anche più di un impianto della stessa macro-categoria, da impiegare congiuntamente o singolarmente, coerentemente con l'evoluzione dinamica della produzione di rifiuti differenziati a scapito degli indifferenziati, conseguente all'applicazione delle diverse ipotesi tariffarie. Il software impiegato è "What's best", prodotto da Lindo System.

multiobiettivo di ottimizzare gli “I” obiettivi, viene trasformato in un problema di ottimizzazione vincolata monobiettivo, scegliendo una delle funzioni obiettivo da massimizzare o minimizzare, nel rispetto dei vincoli esogeni e di nuovi vincoli “endogeni” introdotti dal decisore sul livello minimo di conseguimento dei restanti obiettivi.

L’algoritmo di soluzione è rappresentato dalla programmazione binaria ove a ciascuna variabile decisionale, le singole alternative d’intervento, viene associata una variabile binaria d’esistenza “ X_{ts} ”, variabile che nell’ottimo assumerà il valore 1 (= alternativa da realizzare) o 0 (= alternativa da non realizzare). Operando a valle di una precedente analisi economico-finanziaria dei singoli interventi, potrà risultare opportuno valorizzare le informazioni acquisite e scegliere come funzione obiettivo da ottimizzare, nel rispetto dei vincoli, la funzione che di per sé già rappresenta una significativa aggregazione di gran parte degli impatti: ad esempio il valore attuale netto [2].

$$\text{Max } \Sigma \text{VAN}_{ts} * X_{ts} \quad [2]$$

Nel rispetto dei *Vincoli*:

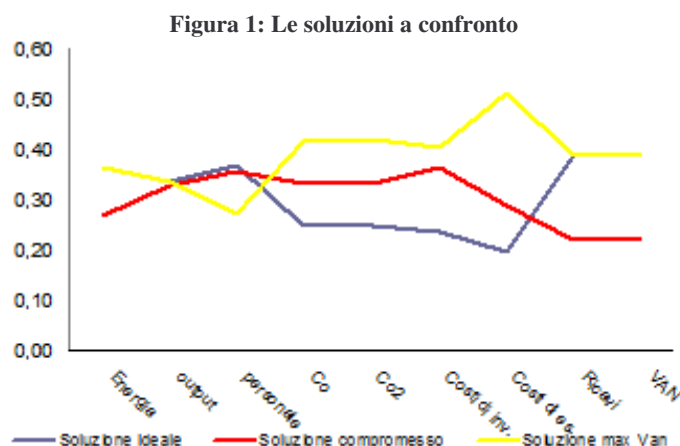
- vincoli esogeni;
 - vincoli endogeni sui valori che gli obiettivi esclusi dalla funzione obiettivo devono attingere.
- $$X_{ts} * (1 - X_{ts}) = 0$$

Massimizzando la sommatoria dei VAN e lasciando libero il livello di conseguimento degli altri obiettivi, si ottiene una soluzione lontana dalla soluzione ideale in particolare nel perseguimento di obiettivi antitetici, quali la massimizzazione della produzione energetica e la minimizzazione degli effetti ambientali. Nel modello è facile notare come, infatti, all’aumentare della produzione energetica, aumentino anche i valori relativi all’emissione di sostanze inquinanti. L’introduzione progressiva di vincoli sulla produzione energetica ottenibile (max), sull’emissione delle sostanze inquinanti emesse (min) e sulla quantità di *output* ottenibili (max), considerando il *range* di rifiuti indifferenziati e differenziati da trattare, conduce a ciò che il decisore ritiene essere un “compromesso soddisfacente” tra i vari obiettivi perseguiti con riferimento allo scenario base di domanda.

Tabella 6: Scostamento tra la soluzione di miglior compromesso e la soluzione ideale

	U.d. M.	Soluzione max Van	Scostamento dalla soluzione ideale	Soluzione compromesso	Scostamento dalla soluzione ideale	Soluzione ideale
Potenzialità MIN trattamento RI	T/a	210.600	40%	210.600	40%	150.000
Potenzialità MAX trattamento RI	T/a	210.600	-4%	210.600	-4%	220.000
Potenzialità MIN trattamento RD	T/a	139.320	74%	136.080	70%	80.000
Potenzialità MAX trattamento RD	T/a	139.320	0%	136.080	-3%	140.000
Energia elettrica	Mwh/T	171.850	0%	126.360	-26%	171.850
Energia termica	Mwh/T	515.549	0%	379.080	-26%	515.549
Output vendibili	T/a	125.388	0%	122.472	-2%	125.388
Personale	num.	56	-25%	72	-4%	75
Co	T/a	50	70%	40	34%	30
Co2	T/a	208.391	70%	163.715	34%	122.225
...
Costi di investimento	€	74.325.000	72%	67.200.000	55%	43.331.000
Costi di esercizio	€/a	62.019.004	160%	35.178.041	48%	23.812.639
Ricavi	€/a	88.598.578	0%	50.254.344	-43%	88.598.578
VAN	€	94.249.327	0%	53.397.415	-43%	94.249.327

La tabella 6 riporta lo scostamento tra la soluzione di miglior compromesso e la soluzione ideale, così da evidenziare i termini del “compromesso” (fig. 1). Gli impatti conseguiti dagli impianti al variare della quantità di rifiuto trattato, in termini di energia elettrica e termica generata, di materie prime secondarie ottenute e di quantità di sostanze inquinanti prodotte, vengono riportati e valutati nel modello di ottimizzazione per la selezione delle alternative tariffarie, così da valutarne le conseguenze.



6. L'Ottimizzazione vincolata per la selezione delle alternative tariffarie

L'obiettivo della procedura di ottimizzazione è quello di individuare qual è la percentuale di rifiuto differenziato necessaria per ottimizzare il sistema, raggiungendo simultaneamente un compromesso tra obiettivi conflittuali e quindi individuare la tariffa che consente di ottenere tale percentuale.

Il conseguimento di una maggiore percentuale media di raccolta differenziata, conseguente ad una riduzione del livello delle tariffe, comporta:

- un aumento di raccolta differenziata;
- un minore ricorso alla discarica;
- una riduzione del recupero energetico;
- un aumento degli output vendibili;
- un aumento di oneri amministrativi, per l'implementazione di sistemi di pesatura del rifiuto differenziato raccolto e del controllo;
- un maggiore fabbisogno di eco-centri;
- una riduzione del gettito e quindi dell'entrate.

Sottolineando che di per sé l'ipotesi con sconto minimo è migliore relativamente a tutti i criteri rispetto ad una situazione “senza” (non gestita), la tabella seguente effettua un confronto degli impatti tra lo scenario in cui lo sconto assume il valore minore (10%) a quello in cui lo sconto è massimo (40%).

Tabella 7: Lo scenario minimo (sconto 10%) e massimo (sconto 400%) a confronto

	U.d.M	Scenario min	Scenario max	Scostamento
Rifiuti differenziati (T/a)	T/a	100.705	138.160	27%
Rifiuti indifferenziati (T/a)	T/a	197.336	159.882	-23%
Costi di investimento	€	110.209.657	128.093.684	14%
Costi operativi	€	15.741.276	17.471.338	10%
Fabbisogno equivalente/gettito	€	17.510.956	22.225.865	21%
Risparmio su tariffa %	%	2%	13%	82%
Energia elettrica	Mwh /T	118.025	96.566	-22%
Energia termica utile residua (ETU)	Mwh /T	354.074	289.697	-22%
Output vendibili	T/a	91.201	123.390	26%
Emissioni atmosferiche	T/q	147.042	136.337	-8%

Scegliendo come funzione obiettivo la minimizzazione del fabbisogno equivalente annuo, inserendo vincoli sulla massimizzazione della produzione di energia elettrica e sulla minimizzazione delle emissioni atmosferiche, a partire dai parametri della soluzione ideale, si è pervenuti a due soluzioni, definibili: soluzione ambientale e soluzione economica, in relazione alla maggiore o minore percentuale di raccolta differenziata conseguibile con lo sconto (tab. 8).

Tabella 8: Le soluzioni

	U.d.M.	Soluzione 1	Scostamento 1	Soluzione 2	Scostamento 2	Soluzione ideale
Sconto	%	30%	-25%	20%	-50%	40%
Rifiuti differenziati (T/a)	T/a	125.675	-9%	113.190	-18%	138.160
Rifiuti differenziati %	%	42%	-9%	38%	-18%	46%
Rifiuti indifferenziati (T/a)	T/a	172.366	8%	184.851	16%	159.882
Rifiuti indifferenziati %	%	58%	8%	62%	16%	54%
Raccolta (CI)	€	62.132.342	3%	61.171.000	2%	60.209.657
Ecocentro (CI)	€	20.000.000	100%	15.000.000	50%	10.000.000
Investimenti	€	122.132.342	11%	116.171.000	5%	110.209.657
Raccolta (CG)	€/a	10.894.651	1%	10.763.882	0%	10.741.276
Ecocentro (CG)	€/a	2.000.000	100%	1.500.000	50%	1.000.000
Costi operativi	€/a	16.894.651	6%	16.263.882	2%	15.972.811
VAN	€	244.019.533	21%	210.321.249	5%	200.849.294
Fabbisogno equivalente/gettito	€	21.274.735	35%	18.336.765	16%	15.741.276
Disavanzo	€	7.043.304	211%	3.552.885	57%	2.266.198
Risparmio su tariffa %	%	9%	-32%	5%	-59%	13%
Energia elettrica	Mwh/T	103.718	-12%	110.872	-6%	118.025
Energia termica	Mwh/T	311.155	-12%	332.615	-6%	354.074
Output vendibili	T/a	112.660	-9%	101.930	-17%	123.390
Co	T/a	34	2%	35	6%	33
Co2	T/a	138.537	2%	142.845	6%	135.321
...

A questo punto sarà compito del *decision-maker* stabilire rispetto alle sue priorità e ai suoi vincoli di bilancio, l'opportunità o meno di scegliere tra le due percentuali di sconto applicabili, esito della procedura di ottimizzazione. Una volta individuato il mix ottimale di rifiuti differenziati ed indifferenziati che le utenze dovrebbero conferire, se gli ammontari risultano diversi da quelli considerati nella fase iniziale di selezione degli impianti, risulterà opportuno attuare una nuova selezione, così da adeguare gli impianti ai nuovi ammontari da trattare.

7. Commenti conclusivi

Il processo di *decision-making* nel campo dei rifiuti, per le sue caratteristiche intrinseche, sembra offrire largo spazio all'applicazione di approcci valutativi di tipo multicriteriale¹⁷. La scelta di quale tecnica si debba impiegare dipende, oltre che dalla natura e dalla complessità del problema decisionale che si sta affrontando¹⁸, dalla considerazione degli inconvenienti metodologici che

¹⁷ In casi che trattano problemi tipicamente multidimensionali, caratterizzati da interventi fortemente disomogenei che perseguono una pluralità di obiettivi espressi in unità di misura diverse e soggetti a vincoli di vario tipo, l'aggregazione di impatti diversi è metodologicamente irrisolvibile all'interno di approcci unicriteriali/monetari. Al contrario le tecniche più adeguate sono quelle multicriteriali, che consentono di svolgere congiuntamente la fase di aggregazione, valutazione e *scoring* degli interventi. Sulle tecniche multicriteriali: Nijkamp P. (1989); Rostirolla P. (1998); Tetsuzo T.; Tamaki T.; Masahiro I. (2003); Triantaphyllou E., (2000).

¹⁸ Secondo Shmeleva S.E. e Powell J.R. (2006) i maggiori ambiti di ricerca nel campo della gestione dei rifiuti, sono:

- analisi delle determinanti della generazione dei rifiuti;
- localizzazione degli impianti di trattamento e smaltimento;
- scelta dei metodi di trattamento tra opzioni tecnologiche alternative;

alcune di esse presentano¹⁹. Tra le tecniche multicriteriali, a nostro avviso, l'ottimizzazione vincolata sembra essere quella attraverso cui è possibile ottenere soluzioni attendibili sia in fase di generazione, che di valutazione di piano. Il suo impiego risulta idoneo come tecnica di supporto alle decisioni relative alla realizzazione di un servizio da gestire in maniera integrata. Considerando, come spesso avviene, le varie fasi del servizio separatamente le une dalle altre, infatti, non si valutano le interrelazioni di natura tecnica esistenti tra queste e si trascurano le implicazioni che tali relazioni hanno sull'intero sistema sia dal punto di vista economico, che da quello ambientale e sociale.

Nel lavoro si è elaborato un modello operativo volto alla definizione di una procedura di calcolo che, a partire dal Piano per la gestione del ciclo integrato, ha condotto alla determinazione del fabbisogno finanziario da coprire per il tramite di una tariffa incentivante.

L'incentivazione consente il passaggio da un sistema statico, ottimizzato esclusivamente negli aspetti dell'offerta del trattamento, ad un sistema ottimizzato anche sotto l'aspetto della domanda, in cui l'azione di collaborazione, consistente nel raccogliere in maniera differenziata i rifiuti, è legata alla struttura e al livello della tariffa. Quest'ultima, definita un'ipotesi di comportamento sul mercato degli utenti coinvolti e considerati gli obiettivi del *decision maker*, deve essere tale da realizzare un determinato livello di raccolta differenziata (obiettivo di sostenibilità ambientale), considerato ideale per la gestione dell'intero sistema.

A tal proposito, infatti, nel modello proposto, la pianificazione strategica, che consiste nell'effettuare delle scelte di lungo periodo relative alla selezione degli impianti da inserire nella piattaforma, è strettamente legata alla pianificazione tattica, in quanto l'ottimizzazione degli impianti avviene confrontando gli esiti di breve periodo per ciascun set di impianti.

Lo scopo delle analisi, in realtà, non è trovare una soluzione "ottima", ma fornire una soluzione di compromesso, tale da supportare il decisore nella determinazione di una gestione dei rifiuti strategica e integrata, che sia compatibile con la presenza di obiettivi molto differenziati riconducibili ad un'ampia nozione di sostenibilità ambientale, oltre che economico-finanziaria.

La procedura proposta rappresenta un supporto metodologico al fine di coniugare la necessità di razionalizzazione della gestione dei rifiuti con quella di sviluppo dell'economia locale, compatibilmente con il perseguimento di obiettivi di sostenibilità ambientale.

Il limite della sperimentazione, che si riflette nella mancanza di dati puntuali surrogati da dati verosimili tratti da esperienze similari, può essere in parte superato adattando il modello a differenti ipotesi di partenza, così da verificare la robustezza di determinate scelte.

-
- analisi degli impatti ambientali delle diverse tecnologie per il trattamento dei rifiuti;
 - strategie economiche di gestione;
 - valutazioni economiche e degli impatti ambientali, inerenti il trasporto dei rifiuti;
 - macroeconomia del riciclo;
 - generazione e valutazione di piani complessi;
 - altro.

¹⁹ Ad esempio: le ambiguità dovute all'errata definizione dei punteggi; la circostanza, non sempre preferibile, di giungere ad un ordinamento di alternative –invece che ad una soluzione migliore– giudicate quindi a priori tutte tecnicamente ammissibili (*Electre*); di coinvolgere i *decision makers* nelle fasi tecniche di formulazione dei modelli per la selezione e/o la valutazione delle alternative; di comparare necessariamente le opzioni tra di loro, determinando confronti discutibili a causa della mancanza di dati affidabili (*Analisi gerarchica*).

Bibliografia

- Camagni R. (1993), *Economia urbana: principi e modelli teorici*, La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Krugman, P. (1991), *Geography and Trade*, London, MIT Press
- Nijkamp, P., (1989), *Multicriteria Analysis: A Decision Support System For Sustainable Environmental Management*, in *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, Archibugi, F. and Nijkamp, P. (a cura di), pp. 203-220, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1989;
- Perroux, F. (1955) « Note sur la notion de pôle de croissance », *Économ. Appliquée*, VII(1-2): 307-320
- Rostirolla P. (1992), *Ottimo economico: processi di valutazione e decisione*, Liguori Editore, Napoli.
- Rostirolla P. (1998), *La fattibilità economico-finanziaria: metodi e applicazioni*, Liguori editore, Napoli.
- Schmutzler, A. (1999), *The New Economic Geography*, *Journal of Economic Surveys*, 13, 4, pp.355 – 379.
- Shmeleva S.E. e Powell J.R.(2006), *Ecological–economic modelling for strategic regional waste management systems*, *Ecological Economics* 59, pp.115 – 130.
- Tetsuzo T.; Tamaki T.; Masahiro I.(2003), *Multi-objective programming and goal programming : Theory and application* ; New York, Springer
- Trezza B., Moesch G., Rostirolla P. (1978), *Economia Pubblica: Investimenti e Tariffe*, Franco Angeli, Milano
- Triantaphyllou E., (2000), *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*, London, Kluwer Academic Publisher
- Turner R.K., Pearce D.W., Bateman I, (2003), *Economia ambientale*, Il Mulino
- Viesti G. (2000), *Come nascono i distretti industriali*, Laterza Roma-Bari