

L'INTEGRAZIONE DELL'EFFICIENZA EXERGETICA NELL'ANALISI COSTI BENEFICI DELLE POLITICHE DEI TRASPORTI

Mirco Federici, Daniele Verdesca e Riccardo Basosi

Centro Studi Sistemi Complessi e Dipartimento di Chimica- Università di Siena. e-mail: federici2@unisi.it

SOMMARIO

Obiettivo del presente lavoro è quello di presentare un diverso approccio analitico per l'integrazione delle esternalità ambientali all'interno dell'Analisi Costi Benefici (ACB) del Sistema Trasporti. L'approccio è basato su un'integrazione disciplinare tra Economia e Termodinamica che vede l'uso degli indicatori exergetici come fattori di correzione del valore attuale netto (VAN) applicato a diverse scelte strategiche inerenti il trasporto merci ed il trasporto passeggeri. L'approccio ha avuto una prima applicazione empirica nella valutazione delle politiche di sviluppo del sistema dei trasporti su rotaia del sistema senese; sono stati analizzati i diversi scenari a disposizione della pubblica amministrazione arrivando a definire il rendimento exergetico di ognuno di essi. Il valore d'uso del bene è riconducibile ai consumi energetici sostenuti nell'intera filiera del sistema trasporti ai quali corrispondono specifici valori di mercato. La valutazione finale è stata eseguita modificando il VAN delle singole ipotesi progettuali sulla base del rispettivo rendimento exergetico (valore d'uso delle perdite). Concludono la presentazione alcune riflessioni sulla necessità di integrazione tra le discipline e sui risultati dell'applicazione empirica dell'approccio analitico.

L'Analisi Costi Benefici

Scopo dell'ACB è individuare fra più alternative progettuali la proposta migliore, o di verificare, in caso di alternativa unica, che i costi prevedibili del progetto siano complessivamente inferiori ai benefici, in modo da migliorare, con la realizzazione dell'intervento, il livello di benessere generale del contesto socio-economico su cui esso influisce. Rispetto alle normali tecniche per la valutazione di fattibilità usate per investimenti di natura privata, l'ACB deve basare il proprio giudizio di fattibilità degli investimenti in opere pubbliche non solo su criteri di tipo contabile-finanziario, ma anche su criteri di economicità o convenienza sociale ([1] Irvin, 1991; [2] Pearce, 1983).

I problemi che si possono incontrare quando viene utilizzata questa procedura sono quelli legati alla definizione stessa di valore monetario per quei beni intangibili o incommensurabili, come quelli ambientali, che non sono oggetto di mercato ([3] Nuti, 1991).

La divergenza tra valore d'uso e valore di mercato per questi beni porta al fatto che il loro prezzo non rispecchia in genere il loro reale valore sociale.

Per questi motivi sono state studiate metodologie atte a stimare il prezzo in modo da poterli inserire nell'Analisi Costi Benefici. Nella pratica dell'ACB i nuovi prezzi così delineati vengono denominati, prezzi contabili o prezzi ombra.

Altro limite legato all'ACB riguarda l'uso del VAN (Valore Attuale Netto), che è uno dei metodi utilizzati per la scelta dei progetti analizzati dall'ACB; per come è definito, cioè un'aggregazione di costi e benefici derivanti dagli elementi dei progetti, il VAN non riesce ad evidenziare quelle sfumature del progetto che possono essere importanti nella fase di scelta. Il valore finale del VAN è, infatti, dato dalla somma algebrica di

tutti i costi e di tutti i benefici attualizzati con un opportuno tasso di sconto.

Di fronte ad un set di alternative strategiche da valutare il VAN privilegia quindi quei progetti caratterizzati da una distribuzione dei benefici più vicina nel tempo, visto che l'attualizzazione determina implicitamente una distorsione dei benefici e dei costi che si manifestano nei periodi futuri ([4] FORMEZ, 1987). L'espressione del VAN è la seguente:

$$VAN(= P) = \sum_{i=1}^n \left[(B_i - C_i) / (1+r)^i \right] \quad (\text{Eq.1})$$

L'Analisi Exergetica

L'analisi Exergetica è stata sviluppata come risultato dell'applicazione delle analisi termodinamiche a processi termici industriali. Non tutte le forme di energia sono equivalenti rispetto alla loro capacità di fornire lavoro utile; mentre il calore si conserva la sua abilità nel supportare un processo od una trasformazione deve decrescere in accordo al Secondo Principio della Termodinamica (incremento dell'Entropia). In accordo con [5] Szargut (1988) l'exergia è definita come "la quantità di lavoro utile ottenibile quando un componente materiale viene portato in uno stato di equilibrio termodinamico con i componenti comuni dell'ambiente circostante per mezzo di processi reversibili".

Lo stato di completo equilibrio così raggiunto viene chiamato "dead state" ed è caratterizzato dal fatto che i potenziali chimici dei componenti della sostanza, nel volume di controllo considerato, sono uguali a quelli degli stessi componenti nell'ambiente. Il consumo di exergia per unità trasportata viene espressa in MJ/pkm e MJ/tkm.

Le "esternalità ambientali" causate dal sistema o dal processo sono contabilizzate all'interno della analisi

exergetica in termini di “perdite” o “spreco” di exergia. La valutazione delle perdite di exergia viene eseguita per mezzo del rendimento di Secondo Ordine (ε , Eq. 2). Questo ultimo differisce dal rendimento termodinamico classico perché è definito come rapporto tra l'exergia minima necessaria allo scopo e quella realmente utilizzata.

$$\varepsilon = \frac{Ex_{\min}}{Ex_{\text{real}}} \quad (\text{Eq.2})$$

Il Rendimento di Secondo Ordine è ovviamente adimensionale ed il suo valore è compreso sempre tra 0 (massima inefficienza) ed 1 (situazione ideale).

Nonostante la tecnologia dei veicoli stia vivendo un grande sviluppo, sia per quello che concerne i veicoli alimentati con fonti alternative (solare, biodiesel etc.) che per quelli aventi propulsori ibridi (a scoppio ed elettrico), essendo questi ancora dei prototipi, si è ritenuto opportuno scegliere come riferimento per ciascuna categoria di veicolo quello più efficiente attualmente sul mercato.

L'analisi exergetica mette in luce le cosiddette dissipazioni energetiche (sprechi), ovviamente così importanti per l'economia, con un'efficacia decisamente maggiore di quella permessa dall'analisi energetica ([6] Federici, 2004).

Il caso studio: Il sistema dei trasporti nella Provincia di Siena

La Provincia di Siena ha una superficie di 3820 km², il 92% dei quali rappresentati da collina. La struttura economica è basata sull'agricoltura e sul settore terziario; particolare rilievo ricoprono il settore bancario e la struttura universitaria. Va aggiunto inoltre un cospicuo flusso turistico che supporta, di fatto, tutte o quasi le attività commerciali. La scarsa presenza di industrie sul territorio e la bassa densità di popolazione (66 ab/km², [7] ISTAT 2000) rendono il livello d'inquinamento (traffico, inquinamento acustico, produzione di rifiuti etc.) abbastanza accettabile. Questo giudizio è confermato dai dati pubblicati sul Rapporto sullo Stato dell'Ambiente della Regione Toscana ([8] ARPAT, 2000). In definitiva la pressione antropica nell'area può considerarsi lontana dall'essere critica. All'interno dei consumi totali di energia della provincia, il settore dei trasporti incide per il 39% (Basosi e Verdesca, [9] 1998, [10]1999).

Le caratteristiche fisiche del territorio hanno influenzato pesantemente l'evoluzione e lo sviluppo del sistema dei trasporti; la dispersione della popolazione in piccoli centri abitati dislocati su un'area geografica relativamente vasta ha reso necessario lo sviluppo di un sistema stradale a ragnatela costituito quasi esclusivamente da strade “secondarie” di piccola sezione. Attualmente i chilometri di strade adatte alla percorrenza veloce non superano gli 80 km su un totale di 1630 km di rete. Il sistema stradale è integrato da un sistema ferroviario costituito da tre direttrici con centro e nodo di scambio nella stazione di Siena; l'intera linea

ferroviaria ha un'estensione di soli 227 km, quasi interamente a binario singolo. Il sistema ferroviario è basato su una vecchia flotta di treni diesel che è usata praticamente solo dai pendolari. Oltre alla vetustà e all'efficienza dei mezzi, la capacità attrattiva del sistema ferroviario senese risente dello *stop and go* dovuto al binario singolo che rende i viaggi molto lenti e poco piacevoli.

Per conseguenza il trasporto ferroviario rimane in una posizione marginale: l'intero volume di traffico (passeggeri 3.75x10⁹ p-km, e merci 2.85x10⁹ t-km) è assorbito quasi completamente dal sistema stradale dato che solo il 4.59% del traffico passeggeri ed il 12.19% del traffico merci viaggia su rotaia ([11] Federici et al, 2003)

La necessità di un approccio integrato

Nel passato sono stati proposti modelli di integrazione tra le due discipline, soprattutto per riuscire a trovare un valore monetario all'exergia. Il modello che viene presentato invece tenta di internalizzare la variabile termodinamica in un'analisi economica al fine di internalizzare nella valutazione economica il concetto di “uso razionale dell'energia e delle risorse”.

Il modello economico che è stato utilizzato è quello dell'Analisi Costi Benefici (ACB), ed in particolare sono stati analizzati i limiti del VAN come strumento utilizzato nella scelta tra più opzioni.

I principali limiti del VAN sono i seguenti:

- essendo un valore attualizzato, si determina implicitamente una distorsione nei confronti dei costi e dei benefici che si manifestano nei periodi futuri: questo porta a privilegiare quei progetti che hanno una distribuzione dei benefici più vicini nel tempo rispetto ai costi;
- è una differenza assoluta tra due flussi, quindi tende a privilegiare quei progetti che sono caratterizzati da flussi di benefici e costi di ordini di grandezza maggiori;
- da solo non è sufficiente per un'adeguata pianificazione degli Investimenti, perché non consente di ripartire in modo attuale un ammontare predeterminato di risorse tra più progetti disponibili;
- sopravvaluta i vantaggi di progetti con maggiore intensità di capitale, e con maggiore rischio;
- non considera la qualità dell'energia dei progetti di un sistema, nonostante si tenga conto anche dei costi sociali.

Per questi motivi, oltre che svolgere un'ACB e calcolare il VAN, è stata introdotta l'exergia che, come detto precedentemente, è una grandezza termodinamica che ci permette di valutare l'efficienza e l'appropriatezza del sistema o del processo.

L'analisi exergetica è stata qui applicata per verificare gli sprechi di exergia corrispondenti a diverse ipotesi di utilizzo del sistema ferroviario con lo scopo principale di ottimizzarne l'utilizzo.

Come ovvio alle diverse ipotesi corrispondono diversi valori di consumo di exergia specifica per unità trasportata: maggiore sarà la capacità di attrazione di traffico da parte del sistema ferroviario minore saranno i consumi specifici. Tenendo conto di queste

considerazioni il calcolo del Rendimento di Secondo ordine diventa:

$$\varepsilon = \frac{\frac{Ex_i}{\Delta pkm}}{\frac{Ex_r}{pkm}} \quad (\text{Eq.3})$$

dove al denominatore è presente il valore attuale del consumo di exergia per unità trasportata, mentre al numeratore troviamo il valore del consumo specifico di exergia che dipenderà dalla nuova capacità di carico dell'opzione considerata (Δpkm o Δtkm).

Si è così calcolato il rapporto tra l'exergia idealmente consumata dal sistema, vale a dire se il sistema viaggiasse a pieno carico (trasportasse, nel caso in esame, tutti i passeggeri o tutte le merci che effettivamente può trasportare) e quella effettivamente consumata.

Si è quindi moltiplicato i valori del VAN (Eq.1) per il rendimento ε ottenuto precedentemente.

In questo modo il VAN che otteniamo riesce ad inglobare in se anche l'efficienza dell'uso dell'energia.

La differenza che intercorre tra i due VAN, quello corretto e quello no, può essere vista quindi come una sorta di monetizzazione dell'Exergia; in particolare ci indica il costo che si risparmierebbe se il sistema venisse usato al massimo delle potenzialità.

I dati ottenuti sono stati trattati come fossero relativi ad un'unica azienda; in particolare il periodo di vita dell'investimento è stato ipotizzato di 10 anni durante il quale i costi aumenterebbero del 10% durante tutto l'arco di tempo; i costi relativi ai salari aumenterebbero del 5%, sempre nello stesso arco di tempo ; mentre i prezzi dei biglietti e le tariffe aumenterebbero del 5% sempre in 10 anni. Come benefici sono stati considerati il prodotto tra i passeggeri trasportati nelle tre tratte e le relative tariffe; i costi invece sono quelli forniti da Trenitalia SpA.

Svolti i vari calcoli si ottengono le Tabelle 1 e 2 che riassumono i costi ed i benefici totali sia per le merci che per i passeggeri.

I VAN sono stati calcolati applicando un tasso del 5% ottenendo:

VAN Passeggeri = 138.540.579,60 €

VAN Merci = 2.765.855,35 €

L'applicazione dell'analisi Exergetica, ipotizzando un aumento del 40% della capacità di carico passeggeri, e del 10% della capacità di carico merci, porta invece ai seguenti risultati:

ε Passeggeri = 0,716

ε Merci = 0,864

Tab 1. Analisi Costi Benefici del trasporto passeggeri ferroviario in provincia di Siena

ACB TRASPORTO PASSEGGERI		
ANNI	COSTI	BENEFICI
0	4.616.177€	19.016.083 €
1	4.641.783€	19.111.163 €
2	4.667.390€	19.206.244 €
3	4.692.996€	19.301.324 €
4 (0.1)	4.718.603€	19.396.404 €
5	4.744.209€	19.491.485 €
6	4.769.815€	19.586.565 €
7	4.795.422€	19.681.646 €
8	4.821.028€	19.776.726 €
9	4.846.635€	19.871.807 €
10	4.872.241€	19.966.887 €

Tab 2. Analisi Costi Benefici del trasporto merci ferroviario in provincia di Siena

ACB TRASPORTO MERCI		
ANNO	Costi totali	BENEFICI
0	64.982,56 €	327949,3 €
1	65.332,38 €	329630,903 €
2	65.682,21 €	331.312,51 €
3	66.032,03 €	332.994,11 €
4	66.381,86 €	334.675,71 €
5	66.731,68 €	336.357,32 €
6	67.081,51 €	338.038,92 €
7	67.431,33 €	339.720,52 €
8	67.781,16 €	341.402,12 €
9	68.130,99 €	343.083,73 €
10	68.480,81 €	344.765,33 €

Appare evidente che i VAN dei due tipi di trasporto differiscono di molto tra loro (VAN passeggeri 138.54.579,6 € ; VAN merci 2.765.855,35 €). Tale risultato può trovare una spiegazione nel fatto che nella zona della provincia di Siena il trasporto merci non è molto utilizzato rispetto a quello dei passeggeri, per cui i ricavi (benefici) derivanti da tale tipo di servizio sono bassi, nonostante a carico dell'utente gravino alcuni oneri riguardanti i guasti o i ritardi delle merci.

Il successivo passaggio consiste nell'osservare cosa accade se si moltiplicano i VAN per i rispettivi rendimenti, ottenendo così un VAN corretto:

VAN passeggeri x ε Passeggeri = 99.236.618 €

VAN merci x ε merci = 2.338.523 €

Si osserva che i due VAN si sono ridotti entrambi e questa riduzione è legata all'exergia; i rendimenti calcolati, infatti, ci indicano la quantità di exergia sprecata.

La differenza tra il VAN corretto e non, indica i costi che si sarebbero potuti risparmiare se i sistemi (trasporto merci e passeggeri) fossero stati usati al pieno delle loro possibilità, quindi implicitamente essa rappresenta il valore monetario dell'exergia sprecata.

Per sapere, poi, di quanto i VAN si sono ridotti, si può calcolare la differenza tra i due VAN (corretti e non) e dividerla per il VAN non corretto.

Per le merci, il VAN si riduce del 13%, quindi tale sistema può essere migliorato sia dal punto di vista economico che da quello exergetico, ma non di molto. Per i passeggeri, il VAN si riduce del 28%, valore che indica uno spreco maggiore sia di denaro che di exergia.

L'utilizzo, in uno stesso processo decisionale, sia di un'analisi costi benefici che di un'analisi exergetica, ci permette di considerare anche l'impatto che un sistema genera sull'ambiente, con lo scopo di ridurre lo spreco exergetico, e allo stesso tempo ottimizzare il sistema.

Se analizziamo dal punto di vista economico i due investimenti, infatti, il trasporto passeggeri, avendo un VAN maggiore rispetto a quello delle merci, appare preferibile, ma tale vantaggio non emerge dall'Analisi Exergetica, poiché il suo rendimento è più lontano da 1 rispetto a quello delle merci.

Nel caso di questo ultimo, invece, dal punto di vista economico non solo è notevolmente inferiore rispetto al trasporto passeggeri, ma, il suo rendimento mostra che il sistema viene sfruttato quasi nel miglior modo possibile essendo molto più vicino ad 1.

Conclusioni

Il lavoro svolto si è focalizzato su due problemi: internalizzare un'esternalità ambientale per mezzo di un indicatore termodinamico all'interno di una metodologia economica, e l'uso del VAN come strumento di scelta tra diversi progetti di investimento. Il metodo proposto consente di non limitare le valutazioni alla sola ottica economica, permettendo di inserire gli investimenti in una prospettiva di sostenibilità che non danneggi il profitto dell'investimento e nello stesso tempo riduca l'impatto ambientale.

Il metodo fornisce, inoltre, un ulteriore criterio di valutazione per il decisore pubblico.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. George Irvin(1991) Analisi costi-benefici dei progetti di investimento nei paesi in via di sviluppo. Zanichelli, Bologna
2. Pearce,D.W(1983) *Cost-benefit analysis* Macmillan, Basingstoke
3. Nuti Fabio (1991) L'analisi costi-benefici. Il Mulino, Bologna
4. Formez (1987) *Lezioni di analisi costi-benefici* Strumenti formez, Napoli

5. Szargut et al., 1988, p. 188; Wurbs J., et al., Wuppertal Papers Nr. 64, 1996
6. Federici 2004, Analisi termodinamica integrata dei sistemi di trasporto in diversi livelli territoriali. Tesi di Dottorato XVI ciclo.
7. ISTAT 2000. Censimento annuale. <http://www.istat.it>
8. ARPAT 2000. Rapporto sullo stato dell'Ambiente in Toscana. Regione Toscana Editrice.
9. Basosi R., Verdesca D. 1998, Piano Energetico Regionale Toscana, Summary Report, Cognitive Framework. REA Toscana-CESVIT-Regione Toscana, Publisher
10. Basosi R., Verdesca D., 1999. Verso un sistema di trasporti sostenibile. Relazione energetica-ambientale per il settore trasporti. Piano Energetico regionale della Toscana
11. Federici, Ulgiati, Verdesca e Basosi 2003. Efficiency and sustainability indicators for passenger and commodities transportation systems. The case of Siena, Italy. Ecological Indicators 3, pp 155-169. Elsevier.