

Queste note descrivono brevemente alcuni indicatori di tipo ecologico e misto ecologico-economico.

1.1 Exergia

Si definisce *exergia* la quantità di lavoro che un sistema può fornire quando viene portato in equilibrio termodinamico con il suo ambiente. Dunque l'exergia si misura in Joule.

- Dalla definizione segue che l'exergia dipende sia dal sistema che dall'ambiente, e non interamente dal sistema.
- Per questo motivo l'exergia non è una variabile di stato, come per esempio l'energia libera o l'entropia.
- L'exergia può essere utilizzata come funzione obiettivo (goal function), perché misura la distanza di un ecosistema dall'equilibrio, cioè dalla morte.
- L'exergia tiene inoltre in conto l'energia libera che è immagazzinata nell'informazione contenuta nella struttura della biomassa (geni, DNA).
- Dunque l'exergia è anche legata al concetto di biodiversità.

L'exergia per unità di volume di un ecosistema si calcola attraverso la formula:

$$\text{Ex} = \sum_{i=1}^n \beta_i C_i \quad [J/l^{-1}] \quad (1.1)$$

dove:

- n è il numero di componenti (specie di flora e fauna, sostanze organiche e inorganiche) dell'ecosistema;
- C_i è la concentrazione della biomassa dell' i -esimo componente;
- β_i è un fattore che esprime l'exergia posseduta dall' i -esima componente in virtù della sua energia chimica e dell'informazione contenuta nel DNA.

In base a (1.1), quanto più grande è l'exergia, tanto maggiore è la biodiversità, e quindi tanto migliore è lo stato di salute dell'ecosistema. In Tabella 1 sono riportati i valori di β per una serie di organismi, calcolati sulla base di equivalenti di exergia del detrito.

Table 1
Approximate number of non repetitive genes in selected organisms

Organisms	Number of information genes	Conversion factor (β)
Detritus	0	1
Minimal cell (Morowitz, 1992)	470	2.7
Bacteria	600	3.0
Algae	850	3.9
Yeast	2000	6.4
Fungus	3000	10.2
Sponges	9000	30
Moulds	9500	32
Plants, trees	10,000–30,000	30–87
Worms	10,500	35
Insects	10,000–15,000	30–46
Jellyfish	10,000	30
Zooplankton	10,000–15,000	30–46
Fish	100,000–120,000	300–370
Birds	120,000	390
Amphibians	120,000	370
Reptiles	130,000	400
Mammals	140,000	430
Human	250,000	740

1.2 Efficienza exergetica

L'*efficienza exergetica* è una misura del consumo di exergia rinnovabile e non rinnovabile connessa alla produzione di un dato settore economico, dove per *produzione* si intende l'aggregato dei prodotti che vengono posti sul mercato.

Per esempio, nel caso del settore economico *Acquacoltura*, vongole, cozze, ostriche sono i prodotti. La radiazione solare, il fitoplancton, lo zooplancton, ecc., sono ingressi rinnovabili, mentre il gasolio per le imbarcazioni, l'elettricità per le pompe negli stabulari, la plastica delle confezioni, ecc., sono ingressi non rinnovabili.

L'efficienza exergetica si calcola come rapporto tra l'exergia in uscita e l'exergia in ingresso al processo produttivo:

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{\sum_p b_p^\pi \pi_p}{\sum_f b_f^\phi \phi_f + \sum_r b_r^\rho \rho_r} \quad (1.2)$$

dove:

- π_p è la quantità del p -esimo prodotto;
- ϕ_f è la quantità del f -esimo ingresso non rinnovabile in supporto al processo produttivo;
- ρ_r è la quantità del r -esimo ingresso rinnovabile in supporto al processo produttivo;
- b_p^π , b_f^ϕ e b_r^ρ sono, rispettivamente, le exergie unitarie dei prodotti, e degli ingressi non rinnovabile e rinnovabili.

1.3 Bilancio misto exergetico-economico

Per un determinato settore economico, un indicatore misto exergetico-economico è il rapporto tra l'exergia persa (Ex_{persa}) e il valore attuale netto (VAN). Intuitivamente, tale indicatore quantifica le perdite dal punto di vista ambientale per ogni unità monetaria di guadagno netto. Nell'area europea, esso si esprime in Joule/Euro.

L'exergia persa è la differenza tra l'exergia in ingresso e quella in uscita dal processo produttivo, ossia la differenza tra il denominatore e il numeratore di (1.2).

Il valore attuale netto rappresenta la somma algebrica dei valori attuali di tutti i flussi di cassa relativi al processo produttivo (entrate con il segno positivo, costi con il segno negativo). I costi e le entrate future vengono riportati al valore odierno attraverso il tasso di sconto. Il fattore di sconto potrebbe essere l'attuale tasso di interesse.