

# CAMBIAMENTI GLOBALI E LE BASI SCIENTIFICHE DELLO SVILUPPO SOSTENIBILE

TIEZZI ENZO

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi,  
Università di Siena, Via della Diana 2/a - 53100 SIENA

## I cambiamenti globali

Il pianeta Terra presenta oggi gravi problemi ambientali, problemi globali dato che la Terra è un sistema unico e complesso, composto da varie parti fra loro interdipendenti.

I problemi ambientali che interessano apparentemente una singola nazione, e più spesso una parte del territorio della nazione, in realtà fanno parte di un problema globale che riguarda l'intero pianeta. Ormai l'uomo, con il suo modo di vivere e di produrre, sta intaccando i cicli bio-geochimici della biosfera e le catastrofi ambientali, piccole o grandi che siano, sono i segni di una malattia generale del pianeta.

Il vero problema mondiale è, oggi, un problema di interdipendenze, di relazioni fra paesi produttori e consumatori, tra detentori di materie prime e detentori di *know how*, tra paesi ricchi di patrimonio ambientale incontaminato e paesi inquinatori. E' necessario quindi capire i complessi intrecci tra energia e risorse, tra capitale naturale e capitale prodotto dall'uomo, tra locale e globale.

Gli studi geologici, meteorologici, ecologici, oceanografici e biologici in genere, hanno ormai messo in evidenza con chiarezza che la vita di ogni singolo organismo è parte di un processo su grande scala che coinvolge il metabolismo di tutto il pianeta. L'attività biologica è una proprietà planetaria, una continua interazione di atmosfere, oceani, piante, animali, microrganismi, molecole, elettroni, energie e materia, tutti parte di un unico globale. Il ruolo di ciascuno di questi componenti è essenziale per il mantenimento della vita.

Il punto fondamentale di novità scientifica consiste quindi proprio nella constatazione che il sistema in cui viviamo, il pianeta Terra, è un sistema finito e, in quanto tale, presenta dei vincoli: vincoli di territorio, vincoli di assorbimento dei rifiuti e degli inquinanti, vincoli relativi ai grandi cicli della vita (aria, acqua, ossigeno ecc.), vincoli che limitano l'aumento indiscriminato della popolazione e della produzione. La realtà fisica è quindi soggetta a *constraints*, vincoli appunto, e questi possono determinare dei limiti. Un esempio solamente: se la popolazione aumenta ha bisogno di più cibo, per avere più cibo è necessario o produrre di più per ettaro, ma questo comporta l'impovertimento dei suoli, l'erosione, l'inquinamento delle falde e l'eutrofizzazione dei mari, o deforestare per ottenere altri campi da coltivare, ma questo comporta perdita di biodiversità e fa saltare gli equilibri dei cicli vitali del carbonio e dell'ossigeno (effetto serra) e provoca cambiamenti di clima che si ripercuotono sull'agricoltura e così via.

La Terra viene da molto lontano, da 4.500 milioni di anni di evoluzione. E' una

storia, quella dell'evoluzione biologica, complessa e meravigliosa, una storia di energia e di materia, di molecole e di cellule; una storia che ha dato luogo a forme viventi di grande diversità, vegetali ed animali, fino ad arrivare all'uomo.

Grazie al flusso continuo di energia solare e alla fotosintesi, sulla superficie della Terra, la biosfera, sono nate e si sono moltiplicate numerose specie biologiche: questo è il *capitale naturale* che abbiamo avuto in prestito, un capitale di *biodiversità*, fatto dall'aria e dalla terra, dai fiumi e dai mari, dalle foreste e dagli animali. La biodiversità è fondamentale per il mantenimento della vita, perché tutto è legato a tutto su questo pianeta.

E' una storia che la nostra *bisnonna alga azzurra* (come amava chiamarla *Laura Conti*) ha cominciato a scrivere centinaia di milioni di anni fa inventando sulla Terra il processo della *fotosintesi*, il processo che costruisce i mattoni della vita (la struttura biologica di tutti gli esseri viventi) adoperando l'energia del sole, l'acqua e la CO<sub>2</sub> (anidride carbonica) dell'aria: la prima delle condizioni essenziali per la vita.

La fotosintesi contrasta, sulla superficie terrestre, il degrado entropico<sup>1</sup> (per altro inevitabile nei tempi biologici e su scala universale) in quanto tende a "mettere in ordine" la materia disordinata: la pianta preleva infatti materia disordinata (le molecole povere di energia e in agitazione disordinata dell'acqua e dell'anidride carbonica) e, grazie all'energia solare, la organizza costruendo strutture complesse. La fotosintesi si rivela dunque come il processo che, catturando energia solare e diminuendo l'entropia del Pianeta, costruisce la strada maestra dell'evoluzione biologica.

## Il ruolo della termodinamica

Il secondo principio della Termodinamica, una delle fondamentali leggi della natura, indica le strade da evitare perché la vita sulla Terra possa continuare ad esistere. In particolare evidenzia la tendenza universale ineluttabile verso il disordine (in termodinamica, la tendenza verso la massima entropia), che è anche perdita dell'informazione e della disponibilità di energia utile. Questa tendenza, chiamata da Clausius la "morte termica", porta al cosiddetto "equilibrio termodinamico", che è appunto la morte dei sistemi biologici e degli ecosistemi, attraverso la distruzione delle diversità.

Due sono le strade che possono portare a questa situazione:

- a) quando, scambiando energia sotto forma di calore, le differenze di temperatura vengono meno, portando alla livellizzazione delle energie e all'impossibilità pratica di fare qualsiasi cosa, perché lo scambio di energia utile è impedita;
- b) quando un sistema rimane isolato e, consumando le proprie risorse, porta a un grande aumento di entropia interna e, in ultima analisi, alla propria auto-distruzione.

Per questa ragione i sistemi viventi cercano di evitare la situazione di "equilibrio termodinamico", mantenendosi il più lontano possibile da questo, auto-organizzandosi grazie ai flussi di materia e di energia, che ricevono dall'esterno e da sistemi in condizioni di temperatura e di energia diverse dalle loro.

L'economia e la società non possono ignorare il secondo principio della termodinamica. Ne consegue che la globalizzazione, la distruzione delle diversità (sia

---

<sup>1</sup> E. Tiezzi, *Fermare il tempo*, Cortina, 1998.

biologiche che culturali), l'omogeneizzazione, il pensiero unico portano ineluttabilmente alla morte termica, alla distruzione finale e, nello stesso modo, un paese, una nazione, un sistema che fa del proprio isolamento, del rifiuto della contaminazione culturale (o meglio della "cross-fertilization"), dell'arroccamento su posizioni fondamentaliste di conservazione, un dogma politico, farà la stessa fine.

La difesa eccessiva della propria diversità o la perdita delle diversità sono due aspetti della stessa stupidaggine termodinamica.

Nella nuova cultura ecologica-economica sviluppo e crescita hanno ovviamente significati diametralmente opposti. Si arriva così all'*ineluttabilità dei limiti alla crescita*, non come forzatura di una ideologia politica, ma come logica e necessaria conseguenza delle grandi leggi della fisica e della biologia. La teoria economica dominante, legata al meccanicismo positivista e alla cosmologia newtoniana, ignora ancora i concetti di entropia, di rendimento decrescente dell'energia, di indeterminazione, di complessità, di produttività decrescente delle risorse non rinnovabili. Anzi, non solo ignora questi concetti ma ne introduce un altro che potrebbe essere riassunto nella famosa frase "il tempo è denaro". Il progresso viene misurato dalla velocità con cui si produce, si arriva addirittura a pensare che quanto più velocemente si adoperano le risorse della natura, tanto più il progresso avanza. In altre parole, più velocemente si trasforma la natura, più si risparmia tempo. Ma questo "tempo tecnologico" o "tempo economico" è esattamente l'opposto del "tempo biologico". La realtà obbedisce a leggi ben diverse da quelle economiche e invece del "tempo economico" riconosce il "tempo entropico": quanto più velocemente si consumano le risorse e l'energia disponibile del mondo, tanto minore è il tempo che rimane a disposizione per la nostra sopravvivenza. *Il tempo tecnologico è inversamente proporzionale al tempo biologico; il tempo economico è inversamente proporzionale al tempo entropico.*

I limiti delle risorse, i limiti di resistenza del nostro pianeta e della sua atmosfera indicano chiaramente che quanto più acceleriamo la crescita e la produzione, tanto più accorciamo il tempo reale a disposizione della nostra specie. Un organismo che consuma più rapidamente di quanto l'ambiente produca per la sua sussistenza non ha più possibilità di sopravvivenza: ha scelto un ramo secco nell'albero dell'evoluzione, ha scelto la strada percorsa dai dinosauri.

Il tempo-denaro, il tempo scandito dall'orologio non è il tempo adatto a instaurare un rapporto corretto con la natura. Paradossalmente, l'orologio, simbolo dell'ordine, scandisce le ore del disordine. La frenesia del consumismo e della crescita della produzione avvicina i tempi del disordine globale. L'ordine naturale segue altri ritmi, altri tempi.

L'uomo non può fermare il tempo, ma può rallentare l'evoluzione biologica e la crescita produttiva favorendo il futuro della nostra specie e rispettando i limiti biofisici che la sopravvivenza della natura richiede.

Il padre della termodinamica, Rudolph Clausius, così scriveva nel 1885:

*Nell'economia di una nazione c'è una legge di validità generale: non bisogna consumare in ciascun periodo più di quanto è stato prodotto nello stesso periodo. Perciò dovremmo consumare tanto combustibile quanto è possibile riprodurre attraverso la crescita degli alberi.*

## Le basi scientifiche dello sviluppo sostenibile

Le nuove teorie dello *sviluppo sostenibile* e dell'"*ecological economics*" ci pongono davanti un nuovo paradigma: non più un'economia basata su due parametri, il lavoro e il capitale, ma un'economia ecologica che riconosce l'esistenza di tre parametri, il lavoro, il "*capitale naturale*" e il "*capitale prodotto dall'uomo*".

Intendendo per *capitale naturale* l'insieme dei sistemi naturali (mari, fiumi, laghi, foreste, flora, fauna, territorio), ma anche i prodotti agricoli, i prodotti della pesca, della caccia e della raccolta e il patrimonio artistico-culturale presente nel territorio, si vede come sia fondamentale oggi investire in questa direzione.

Daly scrive:

*“per la gestione delle risorse ci sono due ovvi principi di sviluppo sostenibile. Il primo è che la velocità del prelievo dovrebbe essere pari alla velocità di rigenerazione (rendimento sostenibile). Il secondo, che la velocità di produzione dei rifiuti dovrebbe essere uguale alle capacità naturali di assorbimento da parte degli ecosistemi in cui i rifiuti vengono emessi. Le capacità di rigenerazione e di assorbimento debbono essere trattate come capitale naturale, e il fallimento nel mantenere queste capacità deve essere considerato come consumo del capitale e perciò non sostenibile”.*

Herman Daly abbandona così le certezze dell'economia classica e il determinismo della "mano invisibile del mercato" affrontando il tema della complessità ecologica in questi termini:

*"ci sono due modi di mantenere il capitale totale intatto. La somma del capitale naturale e di quello prodotto dall'uomo può essere tenuta ad un valore costante; oppure ciascuna componente può essere tenuta singolarmente costante. La prima strada è ragionevole qualora si pensi che i due tipi di capitale siano sostituibili l'uno all'altro. In quest'ottica è completamente accettabile il saccheggio del capitale naturale fintantoché viene prodotto dall'uomo un capitale di valore equivalente. Il secondo punto di vista è ragionevole qualora si pensi che il capitale naturale e quello prodotto dall'uomo siano complementari. Ambedue le parti devono quindi essere mantenute intatte (separatamente o congiuntamente ma con proporzioni fissate) perché la produttività dell'una dipende dalla disponibilità dell'altra. La prima strada è detta della "**sostenibilità debole**", la seconda è quella della "**sostenibilità forte**".*

*Il capitale naturale e quello prodotto dall'uomo sono fondamentalmente complementari e, solo in misura marginale, si possono considerare intercambiabili. Quindi è la sostenibilità forte il concetto rilevante, anche se la sostenibilità debole è un utile primo passo avanti.*

*Il flusso di risorse naturali e lo stock di capitale naturale che lo genera sono la causa materiale della produzione; lo stock di capitale che trasforma gli input di materia grezza in prodotti è la causa efficiente della produzione. Non si può sostituire una causa efficiente con una causa materiale: non si può*

*costruire la stessa casa di legno con metà legname, non importa quante seghe o martelli si pensa di sostituire.*

*Alcuni preconcetti ci trattengono dal vedere l'ovvio: in particolare che la pesca è limitata dalla popolazione dei pesci nel mare non dal numero di pescherecci; che il legname è limitato da ciò che rimane delle foreste non dal numero delle segherie. Più segherie e più pescherecci non danno come risultato maggior legname e più pesce pescato. Per questo c'è bisogno di più foreste e di un maggior numero di pesci nel mare. Il capitale naturale e il capitale prodotto sono complementari; e il capitale naturale è divenuto il fattore limitante. Più capitale prodotto, lungi dal sostituire il capitale naturale, fa aumentare la domanda di quest'ultimo in maniera complementare, facendolo diminuire per supportare temporaneamente il valore del capitale prodotto e rendendolo, in tal modo, ancora più limitante per il futuro".*

Oggi stiamo vivendo la *transizione da un'economia da "mondo vuoto" ad un'economia da "mondo pieno"*: in questa seconda fase l'unica strada di sostenibilità passa dall'investire nella risorsa più scarsa, nel fattore limitante. Sviluppo sostenibile significa quindi investire nel capitale naturale e nella ricerca scientifica sui cicli biogeochimici globali che sono la base stessa della sostenibilità della biosfera.

Infatti secondo Daly se accettiamo il fatto che il capitale naturale e quello prodotto dall'uomo sono complementari e non possono sostituirsi l'uno all'altro, cosa ne consegue? Ne consegue che *se i fattori sono complementari allora quello in minore quantità sarà un fattore limitante*. Se i due fattori sono intercambiabili allora nessuno dei due può essere un fattore limitante perché la produttività dell'uno non dipende dalla disponibilità dell'altro. L'idea che o il capitale naturale o quello prodotto possano essere dei fattori limitanti non può scaturire se si continua a pensare che i due si possano sostituire a vicenda. Una volta che ci siamo resi conto che sono complementari dobbiamo domandarci quale dei due sia il fattore limitante, cioè quale sia disponibile in minor misura.

Il precedente ragionamento implica la tesi che:

*"il Mondo sta passando da un'era in cui il fattore limitante era il capitale prodotto dall'uomo ad un'era in cui il fattore limitante è quel che rimane del capitale naturale. "Oggi -scrive Daly- la quantità di petrolio greggio estratta è limitata dalla disponibilità di petrolio nei pozzi (o anche dalla capacità dell'atmosfera di assorbire CO<sub>2</sub>), non dalla capacità di estrazione; la produzione agricola è spesso limitata dalla disponibilità d'acqua, non dai trattori o dalle mietitrici. Siamo passati da un mondo relativamente ricco di capitale naturale e privo di capitale prodotto (e di uomini), ad un mondo che è, al contrario, povero di capitale naturale e ricco di capitale prodotto.*

*In un processo produttivo, un flusso di materia e di energia di origine naturale è trasformato in un flusso di prodotti finali da parte di un certo numero di agenti di trasformazioni, ossia lavoro e capitale. Capitale e lavoro sono sostituibili l'uno all'altro fino a un certo grado, perché in un processo di produzione la loro funzione qualitativa è la stessa: sono infatti entrambi agenti di trasformazione del flusso di materia prima di prodotti finiti. Ma i ruoli qualitativi di risorse e capitale sono totalmente differenti: la stessa differenza che c'è tra trasformatore e trasformato, tra stock e flusso."*

Daly identifica, a questo proposito, tre approcci:

- 1] *l'imperialismo economico*, che si ha quando il sistema economico incorpora gli ecosistemi, mettendo i flussi di materiali e di energia sotto l'influenza regolatoria dei prezzi;
- 2] *il riduzionismo ecologico*, che si ha quando il sistema economico viene trattato come un sottosistema dell'ecosistema;
- 3] *lo stato stazionario*, che si ha quando i flussi di materiali e di energia tra l'economia e l'ambiente vengono limitati dalla sostenibilità.

Nella passata era di "economia da mondo vuoto", il capitale umano era, come abbiamo visto, il fattore limitante. Noi ora stiamo entrando in un'era di "economia da mondo pieno", in cui il capitale naturale sarà sempre più il fattore limitante. Lo sviluppo sostenibile richiede che il capitale naturale rinnovabile sia mantenuto intatto. Rimane la categoria delle risorse non rinnovabili che, strettamente parlando, non possono essere mantenute intatte a meno di non rinunciare al loro uso. (Ma se tali risorse non possono essere mai usate, allora non c'è alcun bisogno di conservarle per il futuro!). E' tuttavia possibile sfruttare le risorse non rinnovabili in maniera "quasi sostenibile", graduandone la velocità di sfruttamento in base a un corretto confronto con la velocità di creazione di sostituti rinnovabili.

L'uso quasi sostenibile di risorse non rinnovabili richiede che ogni investimento nello sfruttamento di una risorsa non rinnovabile sia bilanciato da un investimento compensativo in un sostituto rinnovabile (per esempio, che l'estrazione del petrolio venga bilanciata dalla coltura di alberi che consentano di produrre alcol da legna).

Fino ad oggi l'economia ha trattato, correttamente, il capitale prodotto dall'uomo (per esempio le macchine) usando la prima legge della Termodinamica e le quantità conservative ad essa relative: l'energia e la materia. L'economia ortodossa ha assunto tutto l'impianto teorico del meccanicismo e del determinismo e, con esso, la reversibilità del tempo. Ma il "*capitale naturale*" (ieri trascurabile, oggi fattore limitante e, quindi, fondamentale) appartiene a un altro tipo logico, quello dei sistemi lontani dall'equilibrio, quello dei sistemi complessi in evoluzione. È allora conseguente trattare il "capitale naturale" in termini evolutivi e non-conservativi (entropia, strutture dissipative, processi irreversibili, caos dinamico); assumere fino in fondo il ruolo costruttivo del tempo e della probabilità. In poche parole sostituire, negli studi economici ed ecologici, la fisica classica con la "*fisica evolutiva*".

## **Gli indicatori**

L'utilizzo degli indicatori è finalizzato all'acquisizione e all'applicazione di informazioni che consentano di misurare, da una parte, le capacità dell'ecosistema di supportare l'attività umana e, dall'altra, gli effetti che l'utilizzo delle risorse da parte dell'uomo provoca sull'ambiente. Essi sono utilizzati per valutare la performance ambientale del sistema ed in particolare ponderare i comportamenti della popolazione sul territorio nelle sue manifestazioni principali: quella ambientale, appunto, insieme con quella economica e sociale.

Il modo di vedere le interazioni tra attività umana ed ambiente, che in questo ambito della ricerca sono analizzate sotto l'aspetto dei consumi e dello sfruttamento

delle risorse e del territorio, sono diversi e diversamente rappresentabili a seconda del modo di affrontare la problematica dello sviluppo sostenibile. Si propone, pertanto, l'utilizzo di un set di indicatori in grado di fornire un'informazione variegata e differenziata a seconda della metodologia adottata.

### *L'Analisi Emergetica*

L'analisi energetica è stata introdotta alla fine degli anni 80 dal Prof. Howard T. Odum dell'Università della Florida. Si tratta di una metodologia capace di valutare i prodotti ed i servizi ambientali ed economici in termini di un'unità energetica comune, l'energia solare equivalente, chiamata "solar emergy" (emergia). L'emergia è la quantità di energia solare che è necessaria (direttamente o indirettamente) per ottenere un prodotto o un flusso di energia in un dato processo. Più grande quindi risulta essere il flusso emergetico complessivo necessario a supportare un certo processo, maggiore è la quantità di energia solare che questo "consuma", ovvero maggiore è il costo ambientale presente e passato necessario a mantenerlo. Poiché l'approccio emergetico è in grado di tener conto del lavoro che l'ambiente ha dovuto svolgere per produrre un certo bene o prodotto, esso è di fondamentale importanza per una definizione di sviluppo sostenibile, per un utilizzo del capitale naturale e di quello prodotto dall'uomo che sia corretto non solo da un punto di vista economico, ma anche ambientale. I risultati di un'analisi emergetica mostrano con più evidenza il loro potenziale se il sistema territoriale sotto studio è confrontato con altri sistemi dello stesso tipo. L'analisi comparata di diversi comprensori territoriali dà origine alle cosiddette "mappe di sostenibilità", che sono rappresentazioni grafiche della geografia emergetica in una data area. In altri termini esse rappresentano la distribuzione delle risorse sul territorio. È così possibile valutare lo sviluppo tecnologico, l'uso delle risorse (impatto ambientale ed efficienza di conversione), la sostenibilità nel lungo periodo e l'equilibrio degli scambi commerciali con altri paesi. Per condurre una simile valutazione è utile il calcolo di alcuni indici derivanti dai flussi di emergia. Il "rapporto di impatto ambientale" è definito come il rapporto tra l'emergia da risorse non rinnovabili e l'emergia da risorse locali rinnovabili. Aree o processi con indici di impatto ambientale molto alto hanno meno attività ambientale (fonti rinnovabili di emergia) a sostegno di ciascuna unità di attività economica (emergia di origine locale non rinnovabile o importata). Un elevato valore di questo indice suggerisce l'esistenza di un elevato stress per l'ambiente, poiché i cicli ambientali locali sono sovraccarichi. Una misura della concentrazione spaziale del flusso di emergia all'interno di un processo o di un sistema è data dalla "densità di flusso energetico", definita come flusso di emergia per unità di tempo e per unità di area. Una densità emergetica elevata può riscontrarsi in territori dove l'uso di emergia è grande a confronto con l'area disponibile. Ciò suggerisce una gerarchia spaziale, con alla testa aree (città, regioni industriali, nazioni) molto industrializzate, seguite da aree con economia rurale o comunque meno concentrata. Un'elevata densità di flusso emergetico suggerisce che la disponibilità di territorio possa essere un fattore limitante per la crescita economica futura del paese, anche se non ne impedisce lo sviluppo, che invece deriva da un miglior uso delle risorse disponibili.

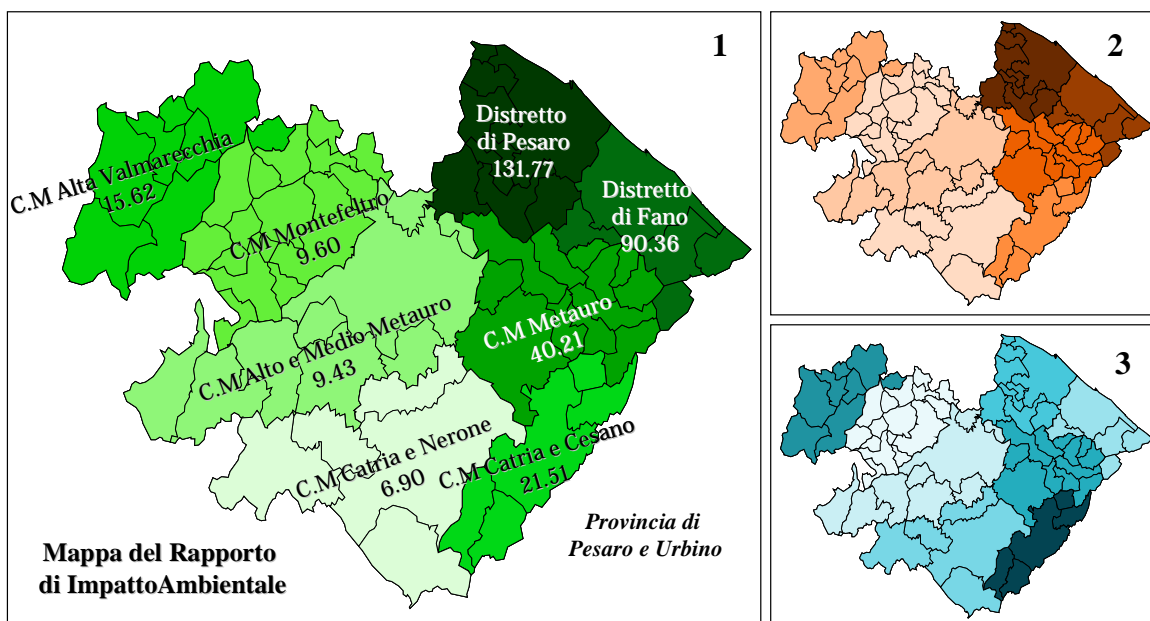


Fig. 1 Le Mappe di Sostenibilità della Provincia di Pesaro e Urbino: 1) Rapporto di Impatto Ambientale; 2) Densità di Emergenza; 3) Emergenza per Persona

### *L'Impronta Ecologica (Ecological Footprint)*

L'impronta ecologica è una nuova metodologia di contabilizzazione delle risorse ambientali che si deve a Mathis Wackernagel e William Rees. Essa fornisce una misura della superficie degli ecosistemi ecologici produttivi (intesi come foreste, terre agricole, pascoli, bacini idrici, ecc.) necessari per sostenere a lungo termine le attività economiche e sociali di un individuo, di una particolare comunità, di un paese, di una nazione o del mondo intero, tenendo conto dei prevalenti sistemi produttivi, delle tecnologie e dell'organizzazione sociale. La sua unità di misura è espressa in ettari di superficie ecologicamente produttiva. In pratica si può affermare che l'impronta ecologica misura la necessità di capitale naturale di un sistema. L'impronta ecologica, come si può facilmente derivare dal nome stesso, è la "misura del peso" che una data popolazione imprime sulla Natura e quindi può essere intesa anche come la quota di carrying capacity di cui quella particolare popolazione si è appropriata. Per carrying capacity si intende il "carico" che l'uomo può imporre stabilmente all'ecosfera senza che venga permanentemente incrinata la produttività dell'habitat stesso. Più in particolare l'analisi dell'impronta ecologica cerca di rileggere il bilancio ecologico (locale, regionale o globale) ribaltando l'approccio tradizionale alla sostenibilità; in altre parole il modello dell'impronta ecologica misura la superficie di territorio richiesta da ogni persona (popolazione) anziché la popolazione che può essere sostenuta per unità di territorio. L'analisi dell'impronta ecologica così come è stata definita consente di stimare l'eventuale sovraccarico globale e il deficit ecologico di qualsiasi regione o paese. Il sovraccarico globale è la parte di impronta complessiva dell'umanità che supera la carrying capacity globale: oltre un certo punto, la crescita materiale dell'economia mondiale può essere ottenuta solo attraverso l'impovertimento del capitale naturale e minando i servizi naturali vitali da cui noi tutti dipendiamo. Il deficit ecologico è invece la misura del "sovraccarico locale": stima cioè la differenza tra la capacità ecologica di una data regione o nazione e la sua effettiva impronta ecologica,

svelando così quanto la specifica regione sia dipendente da capacità produttive extraterritoriali, attraverso il commercio o l'appropriazione di risorse esterne.

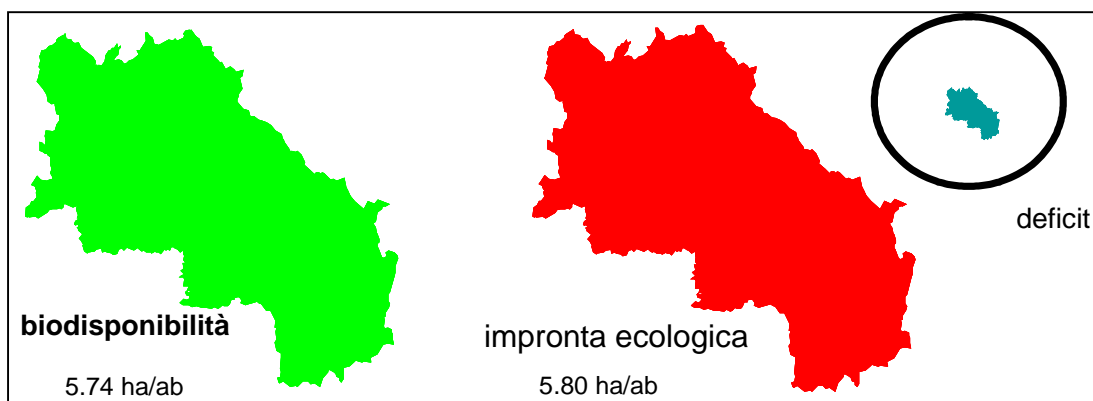


Fig. 2 L'impronta ecologica e la biocapacità della Provincia di Siena.

#### *L'inventario dei gas serra*

L'inquinamento atmosferico è ormai un fenomeno noto a tutti, grazie anche alla pressante opera divulgativa dei media: le massicce emissioni di gas derivanti dalle attività produttive dell'uomo mutano la conformazione e le caratteristiche proprie dell'atmosfera terrestre, provocando variazioni climatiche. La principale responsabile di queste trasformazioni è l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) prodotta dalla combustione di fonti fossili (petrolio e derivati, gas metano, carbone). La CO<sub>2</sub> ha la capacità di assorbire le radiazioni termiche (infrarosse) riflesse dalla superficie terrestre, impedendone la dispersione nello spazio esterno, ed è pertanto la principale responsabile di quello che viene comunemente definito effetto serra, vale a dire il progressivo riscaldamento dell'atmosfera. Le emissioni antropiche di gas che provocano l'effetto serra hanno implicazioni globali in termini di sostenibilità. Secondo le linee guida tracciate dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), la metodologia che presiede all'inventario dei gas serra considera il monitoraggio di diversi settori di interesse per la società umana: il settore energia, l'agricoltura, l'industria, l'uso del suolo, il problema dei rifiuti e la superficie forestale. Il risultato principale è la comparazione tra l'emissione di CO<sub>2</sub> equivalente e la capacità di assorbimento dell'ecosistema territoriale. L'inventario dei gas in questione comprende emissioni di CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO, NMVOC (non-methane volatile organic compounds), SO<sub>2</sub>, HFC, PFC, SF<sub>6</sub> e l'assorbimento di CO<sub>2</sub>.

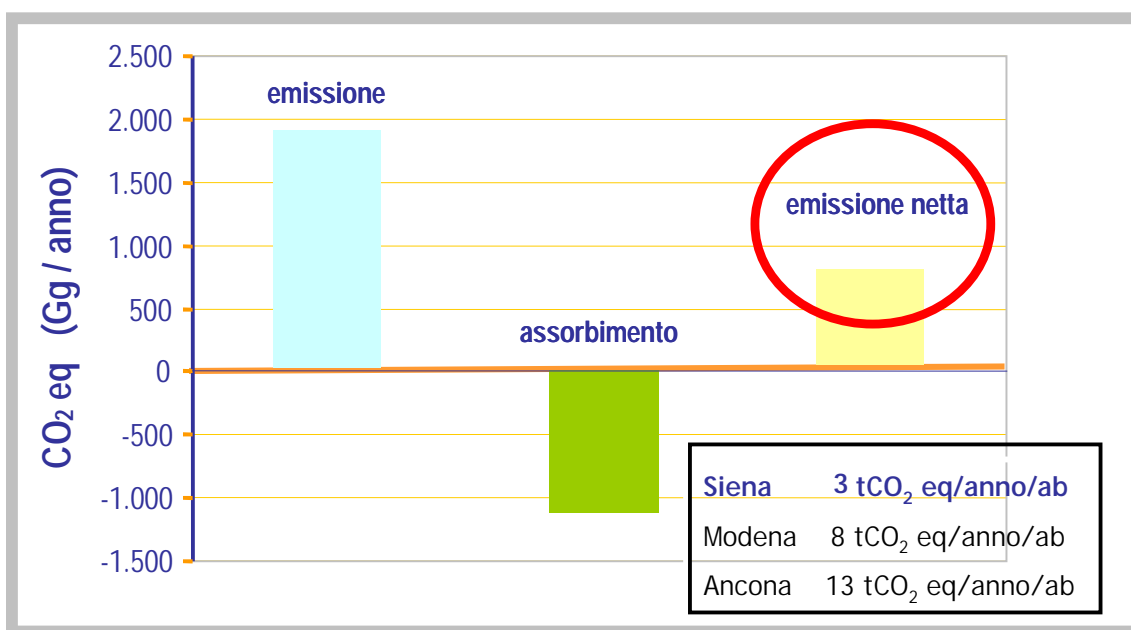


Fig. 3 Risultati dell' "Inventario dei gas serra" per la Provincia di Siena.

### *Il Progetto SPIn-Eco*

Oggi stiamo vivendo la transizione da un'economia da "mondo vuoto" ad un'economia da "mondo pieno": in questa seconda fase l'unica strada di sostenibilità passa dall'investire nella risorsa più scarsa, nel fattore limitante. Sviluppo sostenibile significa quindi investire nel capitale naturale e nella ricerca scientifica sui cicli biogeochimici globali che sono la base stessa della sostenibilità della biosfera.

Da quanto detto si capisce come sostenibilità non significhi avere un ambiente locale "pulito": questa è condizione necessaria ma tutt'altro che sufficiente perché un sistema possa dirsi sostenibile. Non può dirsi sostenibile un sistema territoriale che faccia produrre ad altri tutti i beni che servono al suo mantenimento; oppure che esporti i suoi rifiuti all'esterno. Quindi sostenibilità va intesa in senso globale, considerando anche tutte le interazioni che il sistema di interesse ha con l'esterno.

A livello ambientale, la realtà della Provincia di Siena è particolare in quanto, seppur collocata in un contesto di sviluppo tipico dei paesi industrializzati, risente solo in parte degli aspetti negativi ad esso collegati. La bassa densità di popolazione e l'attenzione alla natura ed al patrimonio storico-artistico fanno della Provincia di Siena un esempio di sviluppo "diverso". La consapevolezza di queste caratteristiche hanno attivato la collaborazione fra l'Amministrazione Provinciale e l'Università di Siena che ha portato alla stesura del progetto SPIn-Eco. Questo progetto è nato dall'azione sinergica fra l'Amministrazione Provinciale di Siena (finanziata dalla Fondazione Monte dei Paschi, una delle più importanti banche a livello mondiale), e il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi, dell'Università di Siena.

Lo scopo fondamentale del progetto è quello di capire quanto il sistema-Provincia di Siena sia non solo "bello", "pulito" ed anche (relativamente) "ricco", ma se e quanto questo sistema sia anche "sostenibile", nell'accezione (scientificamente corretta) di cui abbiamo parlato in precedenza.

In particolare, fra gli obiettivi del progetto c'è quello di fotografare lo stato del sistema Provincia di Siena rispetto ai principi di sostenibilità, e di individuare quali siano i fattori che, nel futuro, possano rivelarsi limitanti per un corretto sviluppo che salvaguardi anche gli interessi delle future generazioni. Infatti possiamo usare gli indicatori come delle istantanee, per fotografare le condizioni attuali del sistema, oppure utilizzarli nel contesto di un regolare monitoraggio. In questo caso gli indicatori ci mostrano in quale direzione sta evolvendo il sistema, così, ad esempio, conoscendo lo stato del sistema ambientale nel suo complesso possiamo assumere delle decisioni sensate e corrette sulla politica ambientale del territorio.

Un altro aspetto che può offrire degli spunti interessanti è la diversificazione all'interno della Provincia stessa, in quanto alcune aree possono avere dei livelli di sostenibilità diversi. Tutto questo porterà alla costruzione di mappe di sostenibilità, che forniranno indicazioni sulle zone in cui apportare miglioramenti e su quelle dove la gestione del territorio è già a buoni livelli. Il progetto si sostanzia nell'analisi del territorio della Provincia di Siena e di ognuno dei 36 comuni che la compongono mediante l'applicazione di differenti strumenti di analisi che consentono una raccolta di informazioni tale da affiancare l'attività di programmazione territoriale a cura dell'Amministrazione locale.

Il gruppo che si è costituito attorno al progetto SPIn-Eco è coordinato da cinque professori dell'Università di Siena che sono i responsabili scientifici e comprende ricercatori, dottorandi, borsisti e tecnici per una cinquantina di unità. Il gruppo si avvale di competenze di fama nazionale e internazionale come *Sven Erik Jørgensen* e *Søren Nors Nielsen* della Royal Danish School of Pharmacy di Copenhagen, *Robert Costanza*, *Herman Daly* e *Trista Patterson*, dell'Istituto di Ecological Economics dell'Università del Maryland, (USA), *Christian Leipert* dell'Università di Berlino, *Margaret Kneller* che proviene dalla Columbia University, N.Y.

Il lavoro portato avanti dai vari gruppi di ricerca che compongono il *team* di SPIn-Eco sarà utilizzato come base di lavoro per la procedura di certificazione EMAS2 dell'Amministrazione Provinciale e dei 36 comuni che la compongono. Il progetto SPIn-Eco si propone quindi di supportare, con i suoi studi e risultati, non solo le attività di certificazione ma anche quelle di Agenda XXI locale che l'Amministrazione sta portando avanti in parallelo. Questo progetto sta infine permettendo di far crescere a Siena un gruppo di giovani ricercatori che avranno la possibilità di incontrarsi e di collaborare con i gruppi di ricerca al livello massimo nel settore.

## **Bibliografia**

- AA.VV. 2001. Gli indicatori della sostenibilità. Un manuale. Ed. ARCA Onlus, Siena.
- Barbier E.B., 1987. The concept of sustainable economic development. *Environmental conservation*, 14 (2), 101-110.
- Bastianoni S., Niccolucci V., Piccini A., Pulselli F.M., 2001. Il progetto SPIN-ECO: una prospettiva di sostenibilità per la Provincia di Siena, *OIKOS*, n°12, 63-78.
- Bastianoni S., Pulselli F.M., Susani L., 2002. Environmental Management based on Thermodynamics: a case study in the Province of Pesaro (Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, Special Issue 3, 105-106.
- Bastianoni S., Pulselli F.M., Pulselli R.M., 2003. Thermodynamic approach for territorial planning: different aspects of the sustainable use of resources and land. A case study from SPIn-

- Eco Project. Ecosystems and Sustainable Development IV (E. Tiezzi, C.A. Brebbia, J.L. Usò eds.), WIT Press, Southampton, in press.
- Brown M.T. and Ulgiati S., 1997, Emergy based indices and ratios to evaluate sustainability monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. "Ecological Engineering", vol. 9, issues 1-2, 51-69.
- Costanza R., Daly H., 1982. Natural Capital and Sustainable Development, *Conservation Biology*, 6(1).
- Costanza R., Daly H., 1987. Toward an ecological economics, *Ecological Modelling*, 38, 1-7.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R, Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van del Belt M., 1997. The value of the world ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Costanza R. ed., 1991. *Ecological Economics: the Science and Management of Sustainability*; Columbia University Press, New York.
- Daly H.E. and Cobb J.B. jr, 1989. *For the common good: redirecting the economy towards community, the environment and a sustainable future*, Beacon Press, Boston. Trad. it. *Un'economia per il bene comune*, Red Edizioni, Como 1994.
- Daly H.E., 1990. Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*, 2, 1-6.
- Daly H.E., 1981. *Lo stato stazionario*, Sansoni, Firenze.
- Daly H.E., 1991. *Economia Ecologica e Sviluppo Sostenibile*. OIKOS n°4, 97-115.
- Daly H.E., 1992. *Operationalizing Sustainable Development by Investing*, Natural Capital, ISEE Conference, Stoccolma, Agosto.
- Dejak C., Pitea D., Rossi C. e Tiezzi E., 1996. *Chimica Fisica per le Scienze Ambientali*, ETAS, Milano.
- ISTAT - Commercio Estero, 1999. *Importazioni ed esportazioni per gruppo merceologico e per paese di provenienza e destinazione (per la provincia di Venezia nell'anno 1999)*.
- Jonas H., 1993. *Etica della responsabilità*. Einaudi, Torino.
- Lotka A.J., 1922. A contribution to the energetics of evolution. *Proceedings of National Academic of Sciences*, 8, 147-155. U.S.A.
- Marchettini N., Tiezzi E., 1995. Le basi scientifiche dello sviluppo sostenibile. *Economia e Ambiente XIV*, (1-2), 13-15.
- Marchettini N. e Tiezzi E., 1995. Verso uno sviluppo sostenibile. *Economia e Ambiente XIV*, (3), 7-10.
- Odum E.P., 1989. *Ecology and our endangered life-support systems*. Sinaeur Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. U.S.A.
- Odum H.T., 1988. Self-organization, transformity, and information. *Science*, 242, 1132-1139.
- Odum H.T., 1996. *Environmental Accounting. Emergy and Environmental Decision Making*. Wiley & Sons, New York.
- Odum H.T., 1971. *Environment, Power and Society*. Wiley, New York.
- Odum H.T., 1983. *Systems Ecology, An Introduction*. John Wiley & Sons Publishers, New York, USA.
- Perrings C., 1992. *Economia e Ambiente*, ETAS Libri, Milano.
- Prigogine I., 1967. *Introduction to thermodynamics of irreversible processes*, Wiley, New York, USA.
- Prigogine I., 1997. *La fine delle certezze*. Bollati Boringieri. Torino.
- Pulselli R.M., Rosini M., Tiezzi E., 2001. Termodinamica e sistemi urbani. OIKOS n°12, 93 - 105.
- Pulselli F.M., Pulselli R.M., Picchi M.P., 2001. Emergy evaluation of the "emternalities" in non-industrialized regions: the case of two mountain communities in Italy. *Proceedings of the "2<sup>nd</sup> Biennial Emergy Analysis Research Conference"*, Gainesville, Florida, USA, in press.
- Rossi C., Tiezzi E., 1991. *Ecological Physical Chemistry*. Elsevier Amsterdam.
- Ruth M., 1993. *Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics*, Kluwer, Dordrecht.

- Scienceman D., 1987. Energy and emergy. In Environmental Economics, G. Pillet and T. Murota editors. Leimgruber, Geneve, Switzerland, 257-275.
- Tiezzi E., 1984. Tempi storici tempi biologici. Garzanti editrice.
- Tiezzi E., Degli Espinosa P., 1987. I limiti dell'energia. Garzanti editrice.
- Tiezzi E. and Marchettini N., 1991. Gestalt shift in modelling the interaction between biophysical constraints and global environment. Ecological Physical Chemistry (Tiezzi E. and Rossi C. editors), Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 67-72.
- Tiezzi E. 1991. Ecosistema e sviluppo sostenibile. In La riconversione Ecologica (a cura di Gentili S. e Zagato G.), Franco Angeli, Milano, 17-25.
- Tiezzi E., Marchettini N. and Ulgiati S., 1991. Integrated Agro-Industrial Ecosystems: An Assessment Approach to Food, Energy and Chemicals Production by Photosynthesis. Ecological Economics, Robert Costanza editor, 459-473.
- Tiezzi E., 1991. Il capitombolo di Ulisse. Feltrinelli, Milano, editore, 93.
- Tiezzi E., 1992. Per uno sviluppo sostenibile. In Strategie per un futuro possibile (a cura di Cecchini A.), Franco Angeli, Milano, 135-48.
- Tiezzi E., 1995. L'Equilibrio - I due aspetti di un unico concetto. CUEN, Napoli.
- Tiezzi E., 1995. Ecologia e.... Laterza, Bari.
- Tiezzi E. (diretta da): OIKOS Rivista quadrimestrale per una ecologia delle idee; Greentime, Bologna.
- Tiezzi E., 1995. Verso uno sviluppo sostenibile. Oikos- Ekoclub 1, 4-6.
- Tiezzi E., Bastianoni S., Marchettini N., 1996. Environmental cost and steady state: the problem of adiabaticity in the emergy value. Ecological Modelling, 33-37.
- Tiezzi E., 1996. Fermare il tempo. Raffaello Cortina editore.
- Tiezzi E., 1996. Gli indicatori di sostenibilità. In Chimica Fisica per le Scienze Ambientali, ETAS Libri, Milano.
- Tiezzi E., 1998. La Bellezza e la scienza. Raffaello Cortina editore.
- Tiezzi E. e Marchettini N, 1999. Che cos'è lo sviluppo sostenibile. Donzelli Editore, Roma.
- Tiezzi E., 2001. Tempi storici tempi biologici, vent'anni dopo. Donzelli editore.
- Tiezzi et al. 2001. Implementazione di un sistema di contabilità ambientale su scala provinciale e intercomunale. Provincia di Bologna.
- Tiezzi E., 2003. The End of Time. WIT Press, Southampton.
- Tiezzi E., 2003. The Essence of Time. WIT Press, Southampton.
- Wackernagel M. and Rees W., 1996. Our ecological footprint. Reducing human impact on the Earth, tr. it. L'impronta ecologica, Edizioni Ambiente, Milano.
- WCED (World Commission on Environment and Development), 1987. Our common future. Oxford University Press, Oxford.