

# La Misura della Sostenibilità:

## Impronta Ecologica e aspetti economico energetici della sostenibilità

**Enzo Tiezzi, Federico M. Pulselli e Valentina Niccolucci**

Università degli Studi di Siena, Dip. di Chimica – via della Diana 2A – 53100 Siena

### **1. La misura della sostenibilità/insostenibilità.**

La sostenibilità è un concetto non misurabile perché non è un fenomeno fisico di per sé. Siccome la sostenibilità è un punto ideale, ci troviamo di fronte a un'alternativa: o il sistema è sostenibile o non lo è. La risposta è sempre (o quasi) che il sistema che stiamo analizzando non è sostenibile, a causa dell'uso dell'energia e della materia e/o a causa dei rifiuti che i sistemi umani generano. Ribaltiamo pertanto il problema e cerchiamo di capire qualcosa di più sulla **insostenibilità**: questa possiamo cercare di misurarla, come «distanza» dal punto ideale della sostenibilità. Vediamo quindi la sostenibilità, o meglio la insostenibilità, come un concetto relativo: non si cerca di sapere **se** siamo sostenibili (sappiamo che non lo siamo!), ma **quanto** siamo insostenibili. Questo può permettere di capire in che posizione ci troviamo rispetto ai criteri di sostenibilità e di mettere in evidenza cosa possiamo fare per ridurre l'insostenibilità. E dato che il concetto di sostenibilità è molto complesso, come abbiamo visto in precedenza, e non direttamente misurabile, sono necessari molti **indicatori** per valutare quanta strada c'è da compiere, a seconda degli aspetti, per giungere alla «meta».

Spesso si genera una certa confusione fra indicatori ambientali e indicatori di sostenibilità (ambientale). I primi vengono monitorati in maniera più o meno continua da enti e organismi pubblici, in Italia le Arpa, e rappresentano senza dubbio un elemento importante per la salute delle persone che abitano una certa area. Siamo ormai abituati a vedere delle «centraline» che vengono poste in luoghi più o meno strategici di aree urbane: campionano solitamente l'aria che respiriamo per garantire che i livelli di particolari inquinanti siano al di sotto di certe soglie critiche; oppure monitorano la qualità delle acque o quantifica esempio un inceneritore o termovalorizzatore. Ma in effetti le centraline dicono solo cosa succede in un determinato punto in un determinato intervallo temporale. Difficilmente questi risultati possono essere estrapolati come «indicatori» validi per un'area. Al più, possono rappresentare un insieme di condizioni necessarie: se il sistema non soddisfa neanche i limiti di legge in materia di aria, acqua ecc., difficilmente esso sarà sostenibile. Ma il fatto che tutti questi indicatori ambientali diano risultanze positive non tranquillizza neanche un po' sul grado di insostenibilità dell'area in cui sono raccolti. Infatti, basta che l'area in questione abbia adottato la politica «furba» di trasferire al suo esterno le attività potenzialmente più inquinanti per inficiarne la sostenibilità.

Se in una nazione si usassero solo auto elettriche non sarebbe automaticamente sostenibile, visto che potrebbe produrre, o addirittura importare, tutta l'elettricità da carbone, petrolio o nucleare. Come dice Gabriele Bollini:

*«Non tutti gli indicatori ambientali possono essere assunti come indicatori o misuratori propri e significativi della sostenibilità/ insostenibilità. Questi numerosi indicatori e parametri ambientali possono spesso anche alludere, riferirsi indirettamente, essere interpretati come spie o come più o meno significativi indicatori dell'andamento della sostenibilità/insostenibilità ma non la misurano oggettivamente e scientificamente in quanto tale».*

Conoscere lo stato ambientale di un sistema non è sufficiente per una valutazione della sua sostenibilità: bisogna conoscere a fondo il *come* si arriva a un certo stato e la storia dei processi che sono stati necessari per raggiungerlo. Da questo tipo di conoscenza si arriva a una valutazione della sostenibilità ambientale che, come abbiamo visto in precedenza, ha un livello di importanza maggiore rispetto agli aspetti socio-economici della sostenibilità.

Questo tipo di analisi permette anche di capire quali meccanismi inducono le insostenibilità e quali processi migliorativi intraprendere. Tutto questo non può essere descritto dagli indicatori dell'approccio DPSIR, in quanto essi agiscono solo sul livello locale e perdono la dimensione globale della sostenibilità, che è quella messa maggiormente in crisi dai fenomeni (appunto globali) a cui stiamo assistendo, sia a livello ambientale che socio-economico.

Un indicatore per essere definito un valido indicatore di sostenibilità dovrebbe possedere i seguenti requisiti:

- essere basato su solidi fondamenti scientifici, sempre più riconosciuti dalla comunità scientifica (la scienza della sostenibilità non può dirsi ancora matura);
- essere rilevante, cioè deve raccogliere in sé tutti gli aspetti della sostenibilità e tutti i livelli (sia globale che locale, non solo quest'ultimo);
- essere trasparente, cioè possono anche essere complessi ma la loro comunicazione e il loro significato devono essere chiari anche a non esperti;
- essere quantificabile, cioè gli organismi che si occupano di statistica devono fare tutto quello che è possibile per raccogliere i dati necessari per una propria diagnosi del livello di sostenibilità;

## 2. **Gli indicatori della "Footprint Family".**

Gli indicatori creati negli ultimi anni sono stati molti e la comunità scientifica è ancora lontana dal trovare un accordo internazionale su quali siano gli indicatori più corretti da utilizzare. Alcuni fra gli approcci più interessanti al problema della sostenibilità sono scaturiti da ragionamenti teorici di carattere generale sui sistemi da cui, mediante assunzioni e semplificazioni, sono stati dedotti degli indicatori. Come esempi di un percorso di questo tipo possiamo citare quelli basati sui concetti di **emergia, l'impronta ecologica, analisi del ciclo di vita e exergia**. I problemi da risolvere nella costruzione e selezione degli indicatori di sostenibilità riguardano la loro rilevanza, il tipo (analitico o sintetico) e il loro vero significato, ovvero la coerenza fra indicatore e «indicandum».

In questo contesto saranno brevemente presentati gli indicatori che fanno capo alla cosiddetta **Footprint Family**: ovvero alla famiglia di indicatori che si basano sul concetto di impronta, a sua volta legato al concetto di appropriazione delle risorse naturali. I tre indicatori sono: l'Impronta Ecologica (*Ecological Footprint*), l'Impronta di Carbonio (*Carbon Footprint*) e l'Impronta Idrica (*Water Footprint*). L'importanza di utilizzare un approccio integrato risiede nel fatto che ciascuno di questi tre indicatori monitorizza aspetti diversi e complementari l'un con l'altro.

### **2.1. Impronta Ecologica**

L'Impronta Ecologica è una metodologia di contabilità, che si propone di stimare l'impatto che l'essere umano esercita direttamente o indirettamente sull'ambiente attraverso la quantificazione dello spazio ecologicamente produttivo che è necessario per sostenerne la presenza e tutte le attività.

La formulazione della metodologia è avvenuta agli inizi degli anni 1990, con la definizione dei principi fondanti da parte del Prof. William E. Rees e da Mathis Wackernagel. Oggi, della formalizzazione,

standardizzazione e divulgazione di questo indicatore si occupa il *Global Footprint Network* (GFN) ([www.footprintnetwork.org](http://www.footprintnetwork.org)).

Per definizione, l'Impronta Ecologica di una popolazione (o di un singolo individuo) è la quantità di territorio ecologicamente produttivo, acquatico e/o terrestre, che è necessario per:

- a) fornire, in modo sostenibile, tutte le risorse di energia e materia consumate da quella popolazione;
- b) assorbire, in modo sostenibile, tutti gli scarti che sono inevitabilmente prodotti da quella popolazione.

L'unità di misura è ettari di superficie ecologicamente produttiva o ettari globali (**gha**). La scelta dell'unità di misura è funzionale alla potenza divulgativa del concetto: lo spazio rende bene l'idea di finitezza e quindi facilita la comprensione del superamento dei limiti.

L'Impronta Ecologica esprime quindi la richiesta di un singolo individuo, o di una popolazione, di Capitale Naturale inteso come l'insieme dei sistemi naturali (e.g. mari, fiumi, laghi, foreste, flora, fauna e territorio) e dei loro prodotti (legname, cereali, pesce) ma anche dei servizi ecologici che offrono (biodiversità, stabilità climatica, fissazione dell'energia solare e conversione in materie prime) e che sono fondamentali per la vita stessa.

Alla base del calcolo c'è una doppia assunzione:

- a) che sia possibile stimare con una certa accuratezza le risorse di materia ed energia consumate;
- b) che sia possibile convertire le risorse nelle corrispondenti superfici biologicamente produttive, necessarie per ripristinare le risorse consumate e assorbire gli scarti che derivano dall'uso.

Le categorie di consumo considerate sono: Alimenti, Abitazioni e Infrastrutture, Trasporti, Beni di Consumo e Servizi. Ad ogni tipologia di bene di consumo è associata, a seconda delle caratteristiche, una o più delle seguenti tipologie di territorio:

- **terreno agricolo**: superficie di terra coltivata necessaria per produrre risorse alimentari e non alimentari di origine animale (e.g. cereali, frutta, verdura, tabacco, cotone);
- **terreno a pascolo**: aree necessarie per produrre i beni alimentari e non alimentari di origine animale (e.g. carne, latte, lana);
- **foreste**: le aree forestali, coltivate o naturali, che possono generare prodotti in legno;
- **area edificata**: superficie di territorio utilizzata per costruire strade, abitazioni e altre infrastrutture;
- **superficie acquatica**: superficie marina e d'acqua dolce necessaria alla produzione di risorse ittiche;
- **terreno per l'energia**: superficie forestale necessaria per assorbire l'anidride carbonica prodotta dal consumo dei combustibili fossili e di energia elettrica all'interno dell'area in esame.

Per tenere conto della diversa produttività dei diversi tipi di terreno, si utilizzano due fattori di conversione:

- **fattore di equivalenza (*equivalence factor*)**: tiene conto della differenza di produttività di un certo tipo di terreno rispetto alla produttività media di biomassa primaria globale di un dato anno. La sua unità di misura è gha/ha. Un ettaro con la produttività media globale ha un fattore di equivalenza pari a 1. Il fattore di equivalenza di un certo terreno è identico per tutte le nazioni del mondo e può cambiare ogni anno in relazione al modello di gestione, alla produttività e alle tecnologie prevalenti;
- **fattore di rendimento (*yield factor*)**: indica di quanto la produttività locale di un dato tipo di terreno differisce dalla produttività media mondiale riferita alla stessa tipologia di terreno. Ad esempio, questo fattore esprime quante volte le foreste brasiliane sono più produttive rispetto alla produttività media mondiale delle foreste. Ogni nazione ha un suo set di fattori rendimento, che possono cambiare di anno in anno.

Tali fattori sono annualmente verificati da parte dei ricercatori del *Global Footprint Network* e si basano sulla produttività potenziale dei terreni stabilita per le *Global Agroecological Zones* (GAEZ)

dall'International *Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) e dalla [\*Food and Agriculture Organization\*](#) (FAO).

Sommando i contributi delle diverse tipologie di territorio, dopo l'operazione di normalizzazione che tiene conto della differente produttività di questi terreni, si ottiene l'impronta totale della popolazione. L'area così calcolata non rappresenta più una superficie reale. Piuttosto, essa è una superficie, che tiene conto della produttività media, necessaria per produrre la quantità di biomassa effettivamente usata dalla popolazione. È utile ricordare che l'Impronta Ecologica rappresenta la somma di tutti questi appezzamenti di terreno, indipendentemente da dove essi siano effettivamente localizzati.

In questo senso EF può essere intesa come uno strumento in grado di assegnare un *valore ambientale* ad ogni risorsa consumata, poiché memorizza, in termini di superficie bio-produttiva, tutto lo sforzo che è stato necessario a monte, per produrre e rendere fruibile quel bene, e a valle, per assorbire gli scarti che ne accompagnano l'uso.

Per citare un esempio, l'Impronta Ecologica di un chilo di pane è circa 30  $gm^2$ . Tale valore è riconducibile alla somma di due contributi, uno reale e uno ideale. Nella fattispecie viene richiesto il terreno agricolo necessario per fare crescere il grano (75%), e un generico terreno per l'energia (25%) per tenere conto di tutti i consumi, diretti ed indiretti, di energia nelle varie fasi di coltivazione (e.g. fertilizzanti), di raccolta (e.g. combustibile), nonché di trasformazione in pane e di trasporto fino al luogo di consumo.

## 2.2. Water Footprint

L'indice chiamato *Water Footprint* (WF) è stato proposto alla comunità scientifica internazionale solo recentemente da Arjen Y. Hoekstra e P.Q. Hung (2005) come alternativa ai tradizionali indicatori di uso dell'acqua. Molte sono le similitudini che accumulano l'impronta ecologica e l'impronta idrica. La prima, la più ovvia, è il nome o meglio suffisso. E questa non è solo una similitudine nominale. Infatti il termine "impronta" si riferisce al fatto che spesso dietro al consumo di un bene o di una risorsa si cela un quantitativo più o meno evidente di risorse che nel tempo si sono direttamente o indirettamente "accumulate" nel prodotto stesso. La seconda similitudine risiede nell'obbiettivo. Entrambi gli indicatori si propongono per contabilizzare in un'unità comune tutti gli input che concorrono alla formazione di un prodotto. Diversa è l'unità di riferimento. L'Impronta Ecologica contabilizza in termini di superficie di terreno che è necessaria per produrre le risorse e assorbire i rifiuti. L'impronta idrica si limita a monitorare il dispendio complessivo di acqua (si misura quindi un volume) necessario sia per produrre il bene o servizio sia per "diluire i rifiuti".

Un'altra similitudine risiede nel fatto che entrambi gli indicatori hanno una doppia componente: reale e virtuale. Tanto più il prodotto è industriale e quindi concentra risorse di tipo non rinnovabile e tanto maggiore è il contributo della componente virtuale rispetto alla reale.

Il concetto di *acqua virtuale*, che indica la quantità d'acqua utilizzata per l'intera filiera, dalla produzione al consumo diretto, è stato introdotto dal prof. J.A. Allan del *Kings College di Londra*, il quale ha recentemente ricevuto il *Stockholm Water Prize* per i suoi studi. L'acqua virtuale rappresenta l'acqua incorporata o nascosta nei beni o nei servizi.

La praticità di WF come indicatore è immediata: oltre a permettere il confronto tra i diversi stili di vita (e di diete) di popolazioni geograficamente distanti, consente anche di quantificare le reali necessità per le popolazioni e le regioni scarsamente fornite d'acqua che sono, da sempre, dipendenti da quelle più ricche. Per citare un esempio, ogni italiano usa in media 215 L di acqua reale al giorno, per bere e per lavarsi, ma il consumo è 30 volte superiore se si considera anche l'acqua virtuale impiegata per produrre ciò che mangia, indossa e ciò di cui usufruisce: più di 6.500 L pro capite, ogni giorno.

Quando ci si riferisce ad un prodotto si stima il *Virtual Water Content* (VWC) o contenuto di acqua virtuale (Hoekstra e Chapagain, 2008). L'aggettivo virtuale si riferisce al fatto che la maggior parte dell'acqua che è necessaria per produrre il prodotto in questione non è contenuta effettivamente nel prodotto finale. Generalmente il contenuto reale di acqua di un prodotto è trascurabile rispetto al contenuto virtuale. L'unità di misura del Virtual Water Content è **m<sup>3</sup>/anno** (Hoekstra e Hung, 2005).

Il VWC viene generalmente scorporato in tre componenti, a seconda del tipo di acqua utilizzato: blu, grigia e verde (Hoekstra e Chapagain, 2008).

- **componente verde**, particolarmente rilevante per i prodotti agricoli, rappresenta la parte d'acqua che è evaporata-traspirata durante tutto il processo di coltivazione del prodotto;
- **componente blu**: volume di acqua superficiale o sotterranea che è stato utilizzato; nel caso di prodotti agricoli questa frazione corrisponde ad esempio all'acqua utilizzata per l'irrigazione dei campi;
- **componente grigia**: volume di acqua inquinata che deriva dal processo di produzione; per quantificare questa frazione di solito si procede determinando il volume di acqua richiesta per diluire l'acqua "inquinata" fino a quando non rientra in uno standard di accettabilità.

### 2.3. Carbon Footprint

Il *Carbon Footprint* o *Impronta del Carbonio* è un termine entrato prepotentemente nel nostro vocabolario grazie alla sua stretta attinenza alle tematiche sui cambiamenti climatici e sull'assegnazione delle varie responsabilità. A tutt'oggi non esiste né una definizione univoca di *Carbon Footprint* né una metodologia standardizzata del suo calcolo. In questo contesto è stata adottata la definizione seguente, più comunemente associata a questo indicatore.

Il *Carbon Footprint* esprime una misura dell'impatto che le attività umane hanno sull'ambiente in termini di emissioni di gas serra prodotte nel ciclo di vita di un prodotto o di un servizio. Le emissioni di gas serra comprendono la contabilizzazione di tutti i gas ad effetto serra diretto o indiretto, a prescindere che abbiano o meno un contenuto in carbonio.

Tutte le emissioni dei vari gas ad effetto serra sono ricondotte al potere climalterante dell'anidride carbonica attraverso opportuni coefficienti detti *global warming potentials* (IPCC, 2009) che tengono conto sia del tempo di vita di una molecola in atmosfera che del relativo potere climalterante.

L'indicatore *Carbon Footprint* ha come unità di misura **kg CO<sub>2</sub> eq.**