

## **Il pianeta Terra, un'arancia blu nel pensiero di Enzo Tiezzi**

Enzo Tiezzi (1938-2010) è stato uno scienziato, un chimico fisico di fama internazionale. Per dare un'idea della personalità eclettica di Enzo Tiezzi, dovremmo riferire dei suoi numerosi incontri e di quanto abbia assorbito da ognuno di questi, sia che fossero con premi Nobel o intellettuali e scienziati di grande fama, sia con i più giovani dei suoi allievi. Tanti, tra questi, hanno fatto tesoro dei suoi insegnamenti per studi e applicazioni in settori e discipline diverse, riconoscendo per la passione che ha saputo trasmettere loro verso la scienza e la vita. Per dire della sua carriera accademica, invece, dovremmo menzionare centinaia di pubblicazioni e lezioni magistrali. La sua ricerca è stata un viaggio, un succedersi di avventure intraprese con lo spirito di un appassionato pioniere. Dagli anni di studio sulla risonanza magnetica alle ricerche nei settori delle scienze evolutive e dell'ecologia, Enzo Tiezzi è stato un autentico precursore delle scienze e delle nuove discipline dell'ambiente, fino agli studi recenti sulle proprietà complesse dell'acqua [1].

Non è possibile riassumere in poche righe il lavoro di Enzo Tiezzi e l'immenso, multiforme, colorato bagaglio di conoscenze acquisite e trasmesse in questi anni di appassionata ricerca scientifica. Volendo individuare un aspetto generale rilevante del suo pensiero, crediamo si debba fare riferimento alla sua grande capacità di osservare e spiegare, in termini teorici, il comportamento di sistemi dinamici complessi. Nel suo pensiero, è soprattutto la termodinamica la scienza che permette di spiegare i processi generali che regolano le funzioni dei sistemi viventi e di affrontare tematiche esistenziali come l'origine e il mantenimento della vita sul pianeta, la complessità e l'emergere di novità in natura. Con questa impostazione di base, le indagini scientifiche di Enzo Tiezzi hanno spaziato dallo studio in laboratorio di alcune particolari reazioni chimiche oscillanti, alla visione sistemica di reti di processi in organismi viventi, ecosistemi, sistemi economici e sociali. Un'accurata e articolata trattazione scientifica sui recenti sviluppi delle scienze evolutive e dell'epistemologia della scienza è raccolta nel volume *Verso una Fisica Evolutiva* [2], che riprende il percorso già intrapreso da Prigogine.

### **Risonanze magnetiche**

Enzo Tiezzi ha iniziato ad occuparsi di risonanze magnetiche già nel corso dei suoi studi universitari, con il gruppo guidato dal Prof. Enzo Ferroni.

Nel 1966, tre anni dopo la laurea in Chimica, vince una borsa Fulbright per gli Stati Uniti e lavora presso il Dipartimento di Chimica della Washington University, St. Louis (Missouri) con Sam Weissman. Nello stesso periodo ha svolto attività di ricerca, sempre nel campo delle risonanze magnetiche, presso il Dipartimento di Biologia con Barry Commoner: si devono a Weissman le prime applicazioni di EPR (Electron Paramagnetic Resonance) in chimica (radicale della naftalina) e a Commoner le prime applicazioni di EPR in biologia (radicali nei processi cancerogeni).

Inoltre Enzo ha collaborato con il Prof. Helmholtz (Dipartimento di Chimica) per l'impostazione della teoria del rilassamento, con i Proff. Pake e Norberg (Dipartimento di Fisica) per gli esperimenti di spin-echo che venivano allora messi a punto nei laboratori di Fisica, con i Proff. Townsend e Kohl (Dipartimento di Biologia) per l'applicazione di EPR, NMR e spin-echo in biologia molecolare e con il Prof. Gutowsky della vicina Università di Urbana.

Sono di questo periodo due importanti lavori, da allora frequentemente citati nella letteratura scientifica internazionale: uno sull'evidenza della presenza del  $Fe^{+1}$  nei processi cancerogeni [3] e un altro sull'analisi comparata EPR/NMR [4], che introduce il concetto delle possibili applicazioni della Risonanza Magnetica Nucleare in Medicina e mette a punto le equazioni dei tempi di correlazione per l'uso di possibili mezzi di contrasto basati su ioni metallici paramagnetici. Passeranno più di dieci anni prima della costruzione del primo apparecchio NMR per la medicina.

### **Chimica fisica, strutture dissipative e reazioni oscillanti**

Enzo Tiezzi ha indagato le principali proprietà dei sistemi viventi, a partire dalla termodinamica di Prigogine, il quale ha definito questi sistemi *strutture dissipative* per la capacità di organizzarsi in forme coerenti e mantenerle nel tempo. Queste proprietà sono dovute a due caratteristiche essenziali e necessarie. La prima è che un sistema dissipativo è un sistema aperto, cioè in relazione con l'ambiente esterno con il quale attiva scambi di energia e materia. La seconda è che una struttura dissipativa è un sistema complesso con una configurazione d'insieme coerente e in grado di adattarsi a sollecitazioni indotte dall'ambiente circostante e autoorganizzarsi. Negli ultimi anni, per individuare e comunicare semplicemente i principi basilari di una teoria ecologica dei sistemi in grado di orientare le nuove tecniche di osservazione della natura, Tiezzi ha posto l'attenzione su un concetto che ha espresso sinteticamente con l'acronimo COOS, con riferimento al nome dell'isola greca patria di Ippocrate [5]. COOS significa "Confined Ontic Open System" ad indicare che ogni sistema vivente o insieme di sistemi viventi - come possono essere un giardino o una barena nella laguna di Venezia [6] - è unico nel suo genere in quanto risultato di un percorso evolutivo epigenetico in cui elementi e sistemi diversi si sono combinati in una successione di scelte e eventi casuali. L'autoorganizzazione di un sistema è garantita dalla presenza di un confine, un'interfaccia che permette di modulare le relazioni e gli scambi tra il sistema e l'ambiente esterno e ne condiziona l'evoluzione.

Sono significative inoltre le similitudini e complementarità riscontrate, con la collaborazione del Prof. Emilio Del Giudice [7], tra la visione della termodinamica evolutiva e quella della fisica quantistica. In particolare, i criteri di formazione di strutture dissipative in natura sembrano coincidere sempre con l'esistenza di domini di coerenza definiti nell'ambito della teoria dei campi quantici (*quantum field theory*).

Le dinamiche di particolari reazioni chimiche, come la reazione di Belousov-Zhabotinsky (BZ) [8-11] (collaborazioni con le Università di Palermo, Sassari e Firenze) potrebbero fornire utili informazioni per migliorare la nostra capacità di comprendere i processi di formazione di strutture ordinate dal caos. Non a caso, "order

out of chaos” è un’espressione tipica della scuola di Prigogine per descrivere un tipico aspetto del comportamento dei sistemi complessi.

### **Termodinamica dei sistemi complessi**

Howard Odum è stato un professore di Scienze Ambientali all’Università della Florida ed è noto per aver ideato interessanti teorie e modelli termodinamici per l’analisi su base energetica di sistemi reali, di scale e complessità diverse, naturali e antropici. Egli sosteneva che “serve un *macroscopio* per vedere il tutto”. L’idea del *macroscopio* di Odum è efficace per descrivere un approccio di studio che l’Ecodynamics Group, il gruppo di ricerca creato da Tiezzi, ha fatto proprio. La costruzione di modelli ambientali in forma di schemi e diagrammi risponde all’esigenza di ricercare una visione d’insieme di un sistema per osservare le relazioni tra le componenti, i processi interni e quelli che avvengono all’interfaccia tra il sistema e l’esterno.

Le attività di una comunità e l’insieme eterogeneo dei processi di trasformazione presenti in un territorio sono supportati da risorse, nelle modalità in cui la natura, prima, e il mercato, poi, le rendono disponibili. Un *diagramma energetico* offre una visione d’insieme dei principali processi e delle dinamiche di un ampio sistema territoriale che raccoglie aspetti diversi e differenti settori di attività in un unico colpo d’occhio. Sono rappresentate, oltre agli elementi costitutivi, le principali fonti di risorse, gli scambi di energia e materia, i flussi in entrata verso il sistema (che Odum chiamava *driving energies*), output e scarti del sistema stesso. I sistemi territoriali, per Tiezzi, sono stati oggetto d’indagine in un libro dal titolo *City out of Chaos -- Urban Self-organization and Sustainability* [12], in particolare, con lo scopo di promuovere un nuovo approccio operativo allo studio e alla gestione delle città contemporanee:

La città è un sistema autonomo in divenire che adatta le proprie dinamiche interne rispetto alle relazioni con l’esterno, in un rapporto di dipendenza. La termodinamica delle strutture dissipative descrive il funzionamento generale di una città e, al tempo stesso, stabilisce delle condizioni. La formazione e la sussistenza di strutture, come l’insieme degli edifici e delle funzioni urbane, ma anche l’economia e la cultura, sono processi che assorbono risorse dall’ambiente esterno e dissipano energia (e materia). Questi processi hanno pertanto un determinato impatto sull’ambiente a una scala vasta e richiedono oggi un’attenta osservazione delle dinamiche ecologiche dalle quali la città dipende. [*Città fuori dal caos*, p.23]

L’elaborazione di dati statistici attraverso metodi di contabilità ambientale e il calcolo di indicatori sono il mezzo attraverso il quale è possibile ottenere una misura del livello di sostenibilità o insostenibilità di sistemi o processi. Un’accurata trattazione dei più diffusi indicatori di sostenibilità è stata presentata nel libro *La Soglia della Sostenibilità; ovvero quello che il PIL non dice* [13], il quale, secondo Peter N. Jones del Bauu Institute di Boulder (Colorado), è “una road map della sostenibilità”.

Il principale strumento di verifica delle attività praticate dall’uomo su un territorio è la misura economica delle stesse. [...] le valutazioni economiche trascurano completamente alcune componenti fondamentali della vita, come quelle ambientali e gran parte di quelle sociali.

Il PIL rappresenta la dinamicità di un sistema economico. [...] L'associazione tra crescita del PIL e livello di benessere ha potuto reggere per un certo periodo, cioè fintanto che la dimensione materiale dell'economia era lontana dai vincoli legati ai limiti della biosfera. Una clamorosa ovvietà termodinamica, che non sia cioè possibile una crescita infinita su un pianeta finito, risulta a quanto pare molto difficile da comprendere per i teorici della teoria economica dominante. [...] Al fine di integrare le informazioni fornite dal PIL, indice della ricchezza di un paese, nel tempo sono nati altri indici come il GPI (Genuine Progress Indicator), l'HDI (Human Development Index), l'IEF (Index of Economic Freedom) e l'ISEW (Index of Sustainable Economic Welfare).

L'ISEW è un indicatore aggregato di sviluppo che si propone di integrare l'informazione contenuta nel PIL, inserendo alcuni fattori di correzione come l'ineguaglianza distributiva, i danni ambientali, alcune variabili sociali.  
[*La Soglia della Sostenibilità*, pp. 143-149]

Il calcolo di indicatori risponde alla necessità di esprimere, attraverso un'informazione sintetica, una chiara diagnosi sullo stato di salute di un sistema o processo.

Già nella prima edizione del 1984 del suo libro *Tempi Storici, Tempi Biologici* [14], Tiezzi affermava che il problema di quella che, in seguito, sarebbe stata chiamata "sostenibilità" è un problema di tempi. Un organismo che consuma più rapidamente di quanto l'ambiente produca per la sua sussistenza non ha possibilità di sopravvivenza. Che i due tempi, di prelievo e di rigenerazione, di emissione e di assorbimento, siano fuori fase è dimostrato dal calcolo dell'*Impronta Ecologica*, un indicatore ideato da William E. Rees e Mathis Wackernagel, negli anni '90 (l'impronta della popolazione mondiale è pari 1.3 pianeti). L'impronta ecologica corrisponde alla superficie di ecosistemi necessari a produrre le risorse ambientali utilizzate e ad assorbire le emissioni di una popolazione o di un dato processo (si esprime in m<sup>2</sup> globali). Il confronto tra impronta ecologica e biocapacità permette di stilare il bilancio ecologico e valutare il deficit o il surplus ecologico di una regione.

In *Tempi Storici, Tempi Biologici*, Tiezzi afferma che "il nucleo della crisi ambientale sta nella differenza tra i velocissimi tempi della crescita tecnologica e i più lenti tempi della biologia" e, a distanza di trent'anni, possiamo dire che Tiezzi aveva visto giusto: rileggendo questo libro riscontriamo l'attualità dei problemi trattati, sottolineata da quello che è successo sia sul piano degli eventi, che sul piano dell'evoluzione del pensiero politico e scientifico.

Il tempo biologico è quella cosa con cui si misura l'evoluzione biologica e la sua unità di misura per studiare il passato è dell'ordine di grandezza di milioni di anni: miliardi di anni ci separano dall'origine della Terra; centinaia di milioni di anni dalla comparsa di alghe, batteri, trilobiti, artropodi, pesci; 3 milioni di anni dalla comparsa dell'uomo. Ma il tempo biologico è anche quella cosa con cui si deve misurare il futuro e la rottura degli equilibri biologici sta inducendo variazioni a livello planetario in tempi talmente brevi da accelerare l'orologio geologico. Trasformazioni che prima avvenivano in milioni di anni possono ora avvenire (per lo squilibrio indotto) in poche decine di anni e le conseguenti variazioni per gli equilibri umani e sociali corrisponderanno a un'accelerazione di milioni di anni di storia.

In altre parole le scale biologiche e storiche si sono invertite. *I tempi biologici e i tempi storici seguono ritmi diversi.* La storia documentata dell'uomo fino a oggi (poche migliaia di anni) è un tempo trascurabile rispetto alla storia biologica della Terra, quasi un infinitesimo matematico e quindi un flash statico nella cultura biologica. Le grandi variazioni iniziate a livello planetario richiedono invece, perché si possano programmare gli opportuni rimedi, che i futuri dieci anni siano paragonati, dal punto di vista biologico, ai milioni di anni trascorsi e che quindi le analisi biologiche siano prioritarie rispetto alle esigenze «storiche» normali: uno studio storico classico non ha più le unità di misura passate e future per dirci che cosa succederà.

Miliardi di anni, con una complessità e un'evoluzione irripetibili, sono stati necessari per creare il patrimonio biologico di una specie; nei prossimi decenni l'intervento dell'uomo sarà responsabile della scomparsa di una specie vivente ogni quarto d'ora.

*(Tempi Storici, Tempi Biologici p.61)*

Tecniche di contabilità ambientale e indicatori di sostenibilità sono stati impiegati, dal gruppo di ricerca guidato da Tiezzi, per valutare il livello di sostenibilità/insostenibilità di processi produttivi. Uno studio specifico ha riguardato le procedure di costruzione, restauro, manutenzione e uso di edifici storici, o anche di nuova edificazione.

Nel caso di un edificio è stato individuato uno schema di funzionamento che include vari processi. La costruzione o il restauro, infatti, richiedono un uso intensivo di materiali ed energia, cioè flussi che formano uno stock permanente. Le risorse utilizzate nelle fasi di restauro e manutenzione sono necessarie per compensare il degrado entropico dell'edificio.

L'applicazione di indicatori ai beni culturali rappresenta una fase sperimentale obbligata per contribuire alla definizione di percorsi e criteri valutativi applicabili al settore delle costruzioni storiche e moderne.

In questo percorso di integrazione tra studi legati all'ambiente e ricerche in tema di beni culturali, un caso eclatante da ricordare è quello che, per iniziativa di Enzo Tiezzi e Riccardo Francovich, ha visto la collaborazione dell'Ecodynamics Group con ricercatori di archeologia di Siena. I rilievi delle concentrazioni di arsenico nella Piana di Scarlino in Maremma, storicamente compromessa dall'inquinamento, hanno infatti portato ad individuare la locazione degli antichi insediamenti etruschi e ha permesso di ricostruire l'evoluzione storica del territorio a partire dalla sua prima vocazione mineraria [15-17].

### **Una personalità poliedrica**

#### *Scienziato e umanista*

In questi anni di appassionata collaborazione, abbiamo visto Enzo Tiezzi ricevere premi e riconoscimenti di ogni tipo, ogni volta con l'orgoglio e la gratitudine di chi sa ancora meravigliarsi dell'approvazione raccolta. Con questo spirito sempre, sia nelle occasioni di grande prestigio tra scienziati internazionali - come per la Blaise Pascal Medal della European Academy of Science o per la Prigogine Medal del Wessex Institute of Technology - sia in tutti gli altri casi, altrettanto importanti - come il premio per l'Arte e la Scienza di Mantova o il Mangia d'Oro, riconoscimento conferito dalla città di Siena ai suoi rappresentanti più illustri.

I libri di Enzo Tiezzi, saggi scientifici ma scritti con la sensibilità di un narratore incantato dalla natura - come *Tempi Storici, Tempi Biologici* [14], *La Bellezza e la Scienza* [18], *Fermare il Tempo* [19], tra gli altri [12,20,21] - hanno formato centinaia di giovani ricercatori e sono stati tradotti e pubblicati in tutto il mondo. Una sua intervista è stata inserita nella Mostra internazionale *Les Yeux ouverts. Stock exchange visions* [22] e ospitata presso il Centro Pompidou a Parigi, alla triennale di Milano e all'Arts festival di Shangai: si tratta di un set di interviste fatte a 54 personalità, tra scienziati e intellettuali di fama mondiale, accreditate e scelte per dare una “visione del mondo al futuro”.

Molta della sua indole esuberante si manifesta tra le righe dei suoi racconti. Enzo è in tutti e in nessuno dei vari personaggi, reali solo in parte o completamente immaginari, che popolano le pagine dei suoi romanzi [23-25], ognuno dei quali, in qualche modo, rappresenta un aspetto della sua molteplice personalità. Per dire di lui dovremmo citare Rosaluna, nata un 4 febbraio in una vasca termale, il cavallo Altair e Indaco de Lunas, un personaggio disegnato, la città e la giovane ragazza Asmara, un pellicano parlante di nome Polibio, il sognatore Isidro Pavòn, il re degli zingari e il pirata Morgan e, infine, dovremmo dire di un suo casuale incontro con una sirena a due code.

#### *Viaggiatore e fotografo*

I suoi viaggi, dall'India alla Patagonia, dal Guatemala alla Cappadocia, e la sua osservazione delle infinite diversità nella natura, nelle culture e nelle civiltà hanno sempre ispirato la sua attività, rivolta alla ricerca costante della bellezza in questa “arancia blu” - come Enzo definisce il nostro magnifico pianeta - e di un rapporto autentico d'armonia con essa. La sua sapienza è espressa in mille forme, con grande coerenza, anche nelle sue fotografie, raccolte, come in un “quaderno di viaggio”, nel *Lo sguardo sul Pianeta. Immagini di biodiversità planetaria tra sostenibilità ambientale e sacralità naturale* [26], più volte esposte in mostra in varie città d'Italia e nelle sue poesie [27,28], che testimoniano il suo essere un meticoloso scienziato e insieme un creativo passionale.

Parlando del suo lavoro, un suo collega e amico, il Prof. Enrico Falqui, ha detto “i suoi ultimi anni sono stati spesi proprio nel cercare di rintracciare “valori universali” nel campo delle sue complesse ed innumerevoli ricerche sul rapporto tra Biologia e Sviluppo; quando Enzo li rintracciava, sceglieva nuovi strumenti e nuovi mezzi per “comunicare”, ad un pubblico sempre più vasto, le sue idee di futuro e di etica della responsabilità, che ha sempre saputo trasmettere a tutti i suoi allievi”.

#### *L'impegno politico*

Enzo Tiezzi non si è mai adattato ai compromessi per rinnovare concettualmente le basi meccaniciste su cui si fonda la società industriale, poco adeguate alla comprensione ed alla conservazione dell'ambiente, e per questo è stato considerato, da parte di alcuni, uno scienziato “scomodo”, sia in sede scientifica che politica. E' evidente, però, che in un'epoca in cui le sue idee iniziano a “concretizzarsi”, come il Protocollo di Kyoto ci mostra, i suoi insegnamenti potranno avere grandi occasioni di sviluppo futuro.

Più che mai attuali, oggi, le sue posizioni e il suo impegno sul nucleare che lo ha visto protagonista negli anni '80: per il suo impegno di scienziato anti-nuclearista, Enzo Tiezzi è stato parlamentare alla Camera dei Deputati del Parlamento Italiano (Gruppo Sinistra Indipendente) nella X Legislatura.

La classe dirigente del nostro Paese, infatti, ripropone l'opzione nucleare come scelta energetica primaria, senza tener conto del risultato del Referendum del 1987 con il quale l'Italia sanciva l'abbandono del ricorso al nucleare come forma di approvvigionamento energetico. L'apporto di Enzo Tiezzi, per il quale la Madre Terra va conservata e protetta affinché le generazioni future possano avere una possibilità di vita, fu sicuramente fondamentale nella scelta del NO all'utilizzo dell'energia nucleare anche per scopi civili.

[...] non esiste al mondo alcun impianto, nemmeno dimostrativo su piccola scala, per il confinamento delle scorie; l'industria nucleare non si è mai preoccupata molto della salute della gente, per cui affronta spese per la salvaguardia dell'integrità fisica delle popolazioni solo quando vi è costretta o teme di subire un danno economico.

[...] Si sente dire che ogni tecnologia comporta un rischio, ma il problema irrisolto delle scorie radioattive porta sul tappeto una nuova variabile: per la prima volta nella storia dell'umanità si pone una ipoteca sulle generazioni future. E un costo sociale (insieme a quello del forzato seppellimento e smantellamento delle centrali dopo poche decine di anni) di imprevedibile entità.

Nel 3000 qualche archeologo potrà trovare durante le sue ricerche sottomarine o in qualche cava granitica un bel cofanetto di metallo, una «tomba etrusca» piena di radioattività.

(*Tempi Storici, Tempi Biologici* p.163)

Recentemente aveva confermato la sua posizione affermando che “la sicurezza nucleare è una fiaba” e ci ha lasciato invitandoci a “sviluppare tutte le meravigliose, stupende energie alternative che si possono ricavare dalla Natura con effetto serra zero, a partire da quella del Sole”.

### **Ecodynamics Group**

Enzo Tiezzi ha fondato e diretto *Ecodynamics group*. Già nel 1992 Enzo Tiezzi e Nadia Marchettini scrivevano [29]:

[We introduce the term ecodynamics] with the meaning of thermodynamic studies applied to ecosystems using the new time conception, and of modelling studies applied to the biosphere using a global model which takes into account negentropic constraints.

Il gruppo è un'équipe di ricercatori nel campo della chimica fisica, della chimica dell'ambiente e dei beni culturali. All'interno del gruppo, collaborano chimici ed ecologi, dottori in scienze naturali e ambientali, economisti, ingegneri e architetti. L'inizio dell'attività risale agli anni '60, dalla collaborazione di Enzo Tiezzi con Barry Commoner presso la Washington University di St. Louis.

Le numerose collaborazioni con gruppi di ricerca nazionali e internazionali, instaurate e consolidate negli anni, hanno contribuito ad estendere le competenze dei ricercatori di Siena rispetto alle questioni ambientali e a sviluppare una visione rigorosa e articolata del tema della sostenibilità.

Il gruppo ha oggi l'onore e l'onere di avvalersi del forte imprinting che Enzo Tiezzi ha affidato ai suoi allievi in questi anni di collaborazione e ricerca. L'impostazione e l'eredità di Enzo Tiezzi, in parte raccolta nei suoi libri e nelle sue pubblicazioni, è oggi la chiave di interpretazione comune per tutti i lavori ed i progetti di natura interdisciplinare svolti da questo gruppo di ricerca, a memoria del primo tra i suoi insegnamenti (citando Seneca): "non esistono venti favorevoli per chi non sa dove andare".

### **I problemi della sostenibilità e della sua misura**

Oggi, la progressiva diffusione del concetto di sviluppo sostenibile sta portando a cercare soluzioni da un punto di vista politico, economico, sociale, istituzionale e ambientale. Questa nuova tendenza, che può essere definita "terapeutica" (rispetto ai vari problemi che sono sorti negli ultimi anni), è spesso parziale ed efficace solo nel breve periodo, contravvenendo l'elemento base della sostenibilità: il tempo. A nostro parere, prima di qualsiasi "terapia della sostenibilità", è necessario attuare una "diagnosi della sostenibilità" sulla base di un'analisi obiettiva della piattaforma ambientale su cui si basano le attività umane.

Il contesto territoriale è concepito come un sistema complesso, dinamico e aperto, in cui diverse componenti si sviluppano e interagiscono fra loro. La visione olistica, che considera il mondo come un insieme integrato piuttosto che un insieme di parti separate l'una dall'altra, sembra essere l'approccio più opportuno da adottare per lo studio e l'analisi dei sistemi antropici. La scelta di metodi e di indicatori come strumenti per valutare la sostenibilità del territorio è un punto chiave di tale analisi.

L'utilizzo congiunto di metodi diversi, scelti in modo da rappresentare, sotto diversi punti di vista, il comportamento di una popolazione che è in relazione con l'ambiente (Emergy evaluation, Ecological Footprint analysis, inventario dei gas serra, etc.), dà luogo a una visione olistica del sistema al fine di attuare politiche adeguate a diversi livelli, come la pianificazione territoriale, la gestione delle risorse e dell'energia, l'uso del suolo, ecc.

Un insieme di dati affidabili e coerenti deve essere reperito ed elaborato secondo procedure rigorose, preferibilmente sulla base di misure fisiche (che sono oggettive e non arbitrarie), in quanto rappresenta la *condicio sine qua non* per ottenere una rappresentazione verosimile della realtà. Ulteriori calcoli statistici possono essere di aiuto al fine di selezionare i migliori insiemi di indicatori: l'informazione statistica gioca, infatti, un ruolo importante nell'articolazione di un progetto di ricerca il cui scopo è quello di valutare la sostenibilità di uno o più sistemi. Per questo motivo, le amministrazioni pubbliche dovrebbero essere tenute a investire maggiori risorse per acquisire informazioni sullo stato del sistema, così come mezzi scientifici per capire il senso delle loro politiche dal punto di vista della sostenibilità.



La sostenibilità è un concetto non misurabile perché non è un fenomeno fisico di per sé. Siccome la sostenibilità è un punto ideale, soprattutto guardando la situazione attuale 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. Ma ribaltiamo 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 mostrare cosa possiamo fare per ridurre l'insostenibilità. E dato che il concetto di sostenibilità è molto complesso, e non direttamente misurabile, sono necessari molti indicatori per valutare quanta strada c'è da compiere, a seconda degli aspetti, per giungere alla «meta».

In termodinamica si parla di grandezze intensive ed estensive. Le grandezze intensive, come la temperatura, la densità o la pressione, non risentono della taglia del sistema. Le grandezze estensive invece dipendono dalla taglia del sistema, come la massa, il volume e l'energia. La sostenibilità, termodinamicamente parlando, è un concetto estensivo perché è legato alla disponibilità totale e limitata di risorse e alla possibilità di un sistema finito di accettare i rifiuti e gli inquinanti. Il miglioramento di parametri intensivi (efficienza, CO<sub>2</sub> per unità di prodotto o per persona ecc.) non è sufficiente alla riduzione dell'insostenibilità. Dobbiamo accompagnare al miglioramento dell'efficienza una parallela diminuzione totale dei consumi, con conseguente diminuzione degli scarti e dei rifiuti. In altre parole, ad esempio, la proposta di ridurre progressivamente la Carbon Intensity (ovvero l'emissione di CO<sub>2</sub> per unità di PIL di una nazione), come proposto da alcuni Stati in occasione delle ultime Conferenze delle Parti delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, potrebbe non essere una politica sufficiente.

Oggi, uno dei punti di grande dibattito in questioni internazionali è proprio il problema dell'effetto serra e il cambiamento climatico.

L'opinione pubblica e le associazioni ambientaliste hanno principalmente focalizzato l'attenzione sul più evidente effetto del problema, come lo scioglimento dei ghiacciai, la scarsità d'acqua o l'estinzione di specie con un danno irreparabile alla biodiversità, oltre alla causa principale del problema: il consumo massiccio di combustibili derivati dal petrolio.

Al fine di ridurre la proliferazione dei gas serra e quindi fermare il riscaldamento globale, è necessario investigare a fondo le principali fonti di gas serra: è importante non solo per individuare il consumo di carburante come la principale fonte di queste emissioni, ma anche per localizzare dove questi gas sono emessi, perché vengono emessi e quali settori economici sono coinvolti nelle emissioni. Tuttavia, senza attribuire responsabilità per le emissioni di gas serra, la loro riduzione e il loro abbattimento rimarrà un compito arduo.

La comunità scientifica dovrebbe quindi portare l'attenzione sulla necessità di un metodo contabile equo ed efficace per creare un inventario dei gas serra che assegni anche la responsabilità delle emissioni.

Il gruppo di esperti intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC, 1996) ha definito un metodo completo per standardizzare l'inventario dei gas serra a livello locale. Nelle linee guida dell'IPCC, i dati sulle emissioni dei gas serra sono per lo più basati su stime e la stima delle emissioni in ciascuna fonte è basata sul presupposto di un rapporto tra una certa attività e le emissioni che essa genera.

Purtroppo, questi inventari possono avere un elevato grado di incertezza dovuto al processo di variabilità della stima nello spazio e nel tempo e appropriati modelli di stima non sono sempre disponibili.

In alternativa al principio della responsabilità territoriale, altri approcci sono stati proposti al fine di suggerire politiche più efficaci ed eque, soprattutto distinzione tra responsabilità del consumatore e responsabilità del produttore.

Assumendo come punto di vista la responsabilità del consumatore, i produttori non sono direttamente motivati a ridurre le emissioni, mentre il consumatore, invece, dovrebbe in teoria assumersi la responsabilità per la scelta delle migliori strategie e politica, mostrando una preferenza per i produttori che sono attenti alla riduzione dei gas serra. Tuttavia, senza adeguati incentivi, sanzioni o politiche, i consumatori potrebbero non essere sufficientemente sensibili rispetto alle loro responsabilità ambientali, non avendo di fatto alcun limite di consumo.

Un pratico compromesso può essere adottato sfruttando il metodo per cui ogni soggetto è *responsabile* per le emissioni direttamente a esso attribuibili e *corresponsabile* per quelle generate per rendere disponibili i beni e i servizi che esso usa. In altre parole, in questo sistema di contabilità, le emissioni di gas serra si accumulano e, contemporaneamente, si «memorizzano» in maniera fittizia in modo tale che il nuovo totale delle emissioni computate è ripartito sulla base di una nuova proporzione basata su un sistema di aggiunte di emissioni relative a ogni fase.

La nuova proporzione dedotta dal criterio dell'emissione aggiunta, o Carbon Emission Added (CEA), consente di ripartire la responsabilità dell'emissione totale in un modo che è intermedio tra il principio geografico (IPCC) e quello del consumatore finale (metodo simile al calcolo dell'Impronta Ecologica).

Questo tipo di approccio prevede una più bassa, ma presente, responsabilità per i paesi fornitori di materie prime e un incentivo per gli importatori a selezionare le produzioni che emettano meno gas serra. In questo modo si possono avere miglioramenti sia dal punto di vista del consumatore (la ricerca del prodotto ambientalmente migliore) sia del produttore (la migliore tecnologia)[30-32].

## **Conclusioni**

Tiezzi non è stato solo un grande scienziato: pieno di interesse per ogni aspetto della

vita, amava rapportarsi con chi gli stava vicino e, come dimostrano i suoi lavori, ha sempre saputo cogliere l'essenza delle cose con amore e semplicità.

Sono compresenti, nel pensiero di Tiezzi, il suo attaccamento alla terra di origine, Siena, e il suo amore per la Terra intesa come pianeta (la *Pachamama* cui fa riferimento nel suo *La Bellezza e la Scienza* [18] e in *Che cos'è lo sviluppo sostenibile?* [20]); quindi, allo stesso tempo, l'identità e unicità della terra senese, ma anche le diversità e le molteplicità del nostro pianeta: "l'unico che abbiamo".

Le riflessioni sulla capacità dell'uomo di relazionarsi alla natura lo hanno inoltre condotto ad approfondire ed applicare, con il suo Ecodynamics group, alcuni significativi indicatori di sostenibilità [21].

Le drammatiche condizioni in cui versano i sistemi naturali sul nostro pianeta, nonché le situazioni di povertà, indigenza e denutrizione di tanta parte della popolazione umana, come testimoniato dai suoi viaggi [26], dimostrano chiaramente la fallacia della cultura del consumismo.

Riportiamo, quindi, un suo appunto:

Una democrazia esiste solo se la diversità naturale e la diversità culturale di un territorio vengono rispettate e conservate e, con esse, la sacralità del luogo.

Una democrazia esiste solo se non c'è un pensiero unico dominante.

Una democrazia esiste solo se nessuna ideologia (politica, religiosa, scientifica, filosofica) prevarica il pensare comune della gente del luogo e/o i diversi modi di pensare e di vivere, purché tali diversi modi siano tolleranti con le altre diversità, non abbiano la pretesa di essere superiori o migliori e non usino la loro identità per potere o profitto.

Una democrazia esiste solo se nessun potere (sia esso militare o religioso, di magistratura o di finanza, di lobby o di associazioni) domina il paese.

Una democrazia esiste solo se i valori etici ed estetici del luogo vengono rispettati e conservati.

Una democrazia è sempre frutto di una storia co-evolutiva tra ambiente naturale e cultura umana, per questo è sempre diversa da luogo e luogo.

Una democrazia è sempre frutto di un fertile intreccio di conservazione e di evoluzione.

Una democrazia è tale se permette che la scienza e l'arte possano esprimersi senza vincoli di utilità, di ideologie, di dogmi, di interessi economici, di finalità cui tendere (Archimede soleva dire: non mi occupo di cose utili, ma di cose belle e sottili).

## Riferimenti

- [1] Special issue of the *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, vol. **5(1)**, 2010.
- [2] E. Tiezzi, *Verso una fisica evolutiva*, Donzelli, Roma, 2006; *Steps Towards an Evolutionary Physics*, WIT Press, Southampton, UK, 2006.
- [3] J.C. Woolum, E. Tiezzi, B. Commoner, "Electron spin resonance of iron-nitric oxide complexes with aminoacids, peptides and proteins", *Biochimica Biophysica Acta* **160**, pp. 311-320, 1968.
- [4] L. Burlamacchi, E. Tiezzi, "An electron paramagnetic resonance study of inner- and outer-sphere equilibria of manganese (II) in water solution", *Journal of Physical Chemistry*, **73**, pp. 1588-1590, 1969.
- [5] S.E. Jørgensen, B.D. Fath, S. Bastianoni, J.C. Marques, F. Müller, S.N. Nielsen, B.C. Patten, E. Tiezzi, R.E. Ulanowicz, *A New Ecology: Systems Perspective*, Elsevier, Amsterdam, 2007.
- [6] G. Cecconi, C. Cerasuolo, N. Marchettini, E. Tiezzi, "Salt-marshes as emergent novelties in the Venice Lagoon", *Ecological Modelling*, **220**, pp. 1870-1873, 2009.
- [7] E. Del Giudice, R.M. Pulselli, E. Tiezzi. "Thermodynamics of irreversible processes and quantum field theory: An interplay for the understanding of ecosystem dynamics", *Ecological Modelling*, **220**, pp. 1874-1879, 2009.
- [8] A. Magnani, N. Marchettini, S. Ristori, C. Rossi, F. Rossi, M. Rustici, O. Spalla, E. Tiezzi, "Chemical waves and pattern formation in the 1,2-dipalmitol-sn-glycero-3-phosphocoline/water lamellar system", *Journal of the American Chemical Society*, **126**, pp. 11406-11407, 2004.
- [9] S. Ristori, F. Rossi, G. Biosa, N. Marchettini, M. Rustici, E. Tiezzi, "Interplay between the Belousov-Zhabotinsky reaction-diffusion system and biomimetic matrices", *Chemical Physics Letters*, **436**, pp. 175-178, 2007.
- [10] F. Rossi, S. Ristori, M. Rustici, N. Marchettini, E. Tiezzi, "Dynamics of pattern formation in biomimetic systems", *Journal of Theoretical Biology*, **255**, pp. 404-412, 2008.
- [11] F. Rossi, R. Lombardo, L. Sciascia, C. Sbriziolo, M.L.T. Liveri, "Spatio-Temporal Perturbation of the Dynamics of the Ferroin Catalyzed Belousov-Zhabotinsky Reaction in a Batch Reactor Caused by Sodium Dodecyl Sulfate Micelles", *Journal Physical Chemistry B*, **112**, pp. 7244-7250, 2008.
- [12] R. M. Pulselli, E. Tiezzi, *Città Fuori dal Caos. La sostenibilità dei sistemi urbani*, Donzelli, Roma, 2008; *City Out of Chaos: Self Organization and Sustainability*, Wit Press, Southampton, UK, 2009.
- [13] F.M. Pulselli, S. Bastianoni, N. Marchettini, E. Tiezzi, *La soglia della sostenibilità: ovvero quello che il PIL non dice*, Donzelli, Roma, 2007; *The Road to Sustainability: GDP and future generations*, WIT Press, Southampton, UK, 2008.
- [14] E. Tiezzi, *Tempi Storici, Tempi Biologici: venticinque anni dopo*, Donzelli, Roma 2005; *The End of Time*, WIT Press, Southampton, UK, 2003.
- [15] S. Focardi, E. Tiezzi, "Distribution of arsenic in soils in a dump area in Tuscany (Scarolino, Follonica)", *Journal of Toxicology and Industrial Health*, **25**, (4-5), pp. 343-349, 2009.
- [16] A. Donati, F.M. Pulselli, F. Riccobono, L. Dallai, R. Francovich, E. Tiezzi, "Origin of Arsenic Pollution in Southwest Tuscany: Comparison of Fluvial Sediments", *Annali di Chimica*, **95** (3-4), pp. 161-166, 2005.

- [17] A. Donati, F.M. Pulselli, G. Protano, L. Dallai, R. Francovich, E. Tiezzi, “With Arsenic On The Etruscans' Footprints”, *International Journal of Ecodynamics*, **2(1)**, pp. 24-26, 2007.
- [18] E. Tiezzi, *La Bellezza e la Scienza*, Cortina, Milano, 1998; *Beauty and Science*, WIT Press, Southampton, UK, 2004.
- [19] E. Tiezzi, *Fermare il Tempo. Un'interpretazione estetico-scientifica della natura*, Raffaello Cortina, Milano, 1996; *The Essence of Time*, WIT Press, Southampton, UK, 2003.
- [20] E. Tiezzi e N. Marchettini, *Che cos'è lo sviluppo sostenibile?*, Donzelli, Roma, 1999.
- [21] F. Pulselli, S. Bastianoni, N. Marchettini, E. Tiezzi, *La Soglia della Sostenibilità. Ovvero quello che il Pil non dice*, Donzelli, Roma, 2007; *The Road to Sustainability. GDP and the Future Generations*, WIT Press, Southampton, UK, 2008.
- [22] *Les Yeux ouverts. Stock exchange visions*. Available at: <http://www.stockexchangeofvisions.org/>
- [23] E. Tiezzi, *Rosaluna*, Donzelli, Roma, 2006; *Rosaluna*, WIT Press, Southampton, UK, 2010.
- [24] E. Tiezzi, *Isidro Pavòn. Ovvero la storia del canale che mai fu*, Donzelli, Roma, 2008.
- [25] A. Bolognini, E. Tiezzi, *Asmara*, Donzelli, Roma, 2009.
- [26] E. Tiezzi, *Lo sguardo sul pianeta. Immagini di biodiversità planetaria tra sostenibilità ambientale e sacralità naturale*. Laris ed., Colle Val d'Elsa (SI), 2010.
- [27] E. Tiezzi, *Di terra, di aria, di mare*, Marcos y Marcos, Milano, 2006.
- [28] G. Moro, E. Tiezzi, *Canto e controcanto*, Marcos y Marcos, Milano, 2009.
- [29] E. Tiezzi e N. Marchettini, “Negentropy and Ecodynamics: the Large Poincaré Systems (LPS)”, *Trends in Ecological Physical Chemistry*, ELSEVIER, Amsterdam, pp. 91-96, 1993.
- [30] S. Bastianoni, F.M. Pulselli, E. Tiezzi, “The problem of assigning responsibility for green house gas emissions”, *Ecological Economics*, **49**, pp. 253-257, 2004.
- [31] F.M. Pulselli, S. Bastianoni, V. Niccolucci, E. Tiezzi, “The needs of sustainability: the problem of data availability for calculating indicators”, *Management of natural resources, sustainable development and ecological hazards*, WIT Press Southampton, UK, pp. 147-156, 2007.
- [32] V. Niccolucci, F.M. Pulselli, E. Tiezzi, “Strengthening the threshold hypothesis: Economic and biophysical limits to growth”, *Ecological Economics*, **60 (4)**, pp. 667-672, 2007.

<p>Inserito: 25 marzo 2011; revisione: 19 aprile 2011  <i>Scienza e Democrazia/Science and Democracy</i>  <a href="http://www.dmi.unipg.it/mamone/sci-dem">www.dmi.unipg.it/mamone/sci-dem</a></p>
--