

CAMILLO DEJAK\*

UN COMMENTO ALLA LEZIONE DI ENZO TIEZZI SULLA  
TERMODINAMICA

Mi fa veramente piacere che l'amico Enzo Tiezzi abbia voluto inserire una lezione di termodinamica tra una lezione di *diagnosi*, diagnosi che spazia dai limiti allo sviluppo fino ai riflessi dell'effetto serra sulla laguna di Venezia, e una di *proposte di rimedi*, dalla "sostenibilità forte" al tavolo interdisciplinare sugli interventi in laguna. Da più parti ormai si sostiene che questa nostra disciplina, di Tiezzi e mia, rappresenta il mezzo più importante per dare una logica scientifica al pensiero ambientale.

Tutti noi, che fin dagli anni '70 ci siamo fatti prendere da fervore ambientale, abbiamo coniugato *fattori razionali*, come i primi grandi modelli e l'analisi di ampie serie storiche di misure, con *fattori irrazionali*, fatti di emotività, estetica, tradizione e cultura umanistica. Ma in oltre un quarto di secolo, con tante battaglie vinte, ma anche tanti errori fatti, tanti falsi obiettivi indicati, i più riflessivi di noi si sono chiesti sempre più una linea di condotta affidabile, che potesse orientare gli sforzi, senza indulgere in fanatismi. Sembra che la termodinamica evolutiva, sorta nella seconda metà di questo secolo, possa dare un aiuto in tal senso.

Enzo giustamente traccia una via di mezzo, di buon senso, tra il *naturologo* e il *tecnocrate*, come lui li chiama, e questa via non è un compromesso, ma un apporto scientifico derivante dalla termodinamica. A questo fine, un intero capitolo della lezione è dedicato al concetto di equilibrio: in primo luogo, definito come stato finale raggiunto da un sistema isolato nel quale esso è costretto a permanere indefinitamente, indi descritto con una razionale formulazione termodinamicostatistica, individuata da Ludwig Boltzmann, poi quale stato stazionario evolutivo e, infine, come sistema dissipativo di Ilya Prigogine.

Il primo concetto non è certamente quello che desidera il naturologo, in quanto per il secondo principio della termodinamica tutto in esso diventa indifferenziato e massima diventa l'*entropia* come misura termodinamica del disordine, ossia si arriva alla cosiddetta "morte termica". Però una logica conservazionista della natura non può che portare a questo stato, isolando sistemi, precludendo evoluzione, in sintesi volendo mantenere acriticamente quello che c'è, a costo di ridurlo alla morte.

Per fortuna la termodinamica statistica ci ha dato, ed Enzo si rifà a questo, una definizione più approfondita del concetto di equilibrio, che dà possibilità di estensione a sistemi non isolati, a contatto con *termostati*, *pressostati* e *chemiostati*, ma anche a sistemi in *evoluzione sotto flussi continui* non solo di

\* Camillo Dejak è professore ordinario di Chimica Fisica nel corso di laurea in Scienze Ambientali dell'Università di Venezia

energia, ma anche di materia. Nasce così il concetto di *steadystate* (stato stazionario) nel quale le proprietà intensive si mantengono costanti nel tempo, ma possono variare nello spazio. Ma anche di *stati di regime* nei quali le variazioni temporali sono così lente che gli indicatori termodinamicostatistici di equilibrio si possono ristabilire prima di variazioni sensibili imposte dall'esterno, quali fluttuazioni meteorologiche o reazioni chimiche.

Questi stati di equilibrio locale, come li definisce Prigogine, nei quali avvengono però trasformazioni naturali spontanee, non possono non creare degrado, ossia aumentare, per lo stesso principio sopra richiamato, la grandezza termodinamica *entropia*: la stazionarietà richiede perciò l'asportazione di questa entropia, ossia sistemi sotto flusso continuo.

Generalizzando ulteriormente questo concetto, come Enzo farà nella sua terza lezione conclusiva, cade completamente la possibilità di una "conservazione" della natura e si arriva alla necessità di interventi, non solo finalizzati al *rendimento*, ma anche alle *capacità sostenibili*. Altro che il "lasciare tutto com'è", che così spesso si teorizza anche per Venezia.

Ma qui entra il tecnologo con le sue "macchine": permettetemi di non parlare di quelle più complesse, moderne, ma, in un'estrema semplificazione, della prima macchina razionalizzata per produrre con continuità lavoro da Sadi Carnot nel 1828. Si aggiungono serbatoi, ossia termostati, ma più in generale pressostati e chemiostati, caldi per il rendimento e freddi per la capacità sostenibile, ossia si apporta calore a bassa densità entropica e lo si asporta invece caricato di entropia. Così si può produrre lavoro meccanico, *privo di entropia*, oppure più in generale *ordine, strutturazione* chimico-biologica. Ma questi serbatoi che cosa sono? In teoria dovrebbero essere enormi contenitori omogenei, isolati dall'ambiente ma insieme al sistema stesso, il quale rispetto a essi è molto più piccolo; in realtà sono piccoli anch'essi quanto il sistema, ma regolati da servomeccanismi sotto flusso continuo da o verso l'ambiente, per mantenere costanti le temperature, oppure pressioni o potenziali chimici (semplificando molto, le concentrazioni). Ma l'ambiente paga a caro prezzo questo intervento: l'entropia può sì essere diminuita dall'esterno, ma quella interna, come giustamente evidenzia Enzo con un'accurata formulazione, tende sempre a crescere verso un massimo al variare di grandezze estensive, ossia *quantità* di materia e di volume. L'inquinamento dell'ambiente con l'entropia è sempre superiore all'ordine prodotto nel sistema, nel senso che si richiede una continua regolazione dall'esterno di esso, senza la quale accade quello che i giapponesi hanno evidenziato brillantemente con il *Tamagoci*.

A questi limiti dell'intervento tecnologico la natura ovvia con altre leggi. Ed Enzo Tiezzi lo spiega esaurientemente, percorrendo giustamente la via storica interdisciplinare, da Darwin a Schrödinger, a Morowitz. Ma anche la stessa termodinamica può dare una risposta diretta: i serbatoi della natura

non sono mai rigidamente regolati nelle loro grandezze intensive, ossia nella loro *qualità*, come giustamente Enzo sottolinea. I termostati naturali, a differenza di quelli tecnologici, sono soggetti a forti *fluttuazioni meteoclimatiche* che arrivano fino a variazioni catastrofiche, come quelle che portarono alla scomparsa dei dinosauri. Ma cosa fa un sistema di fronte a tali oscillazioni termiche? Esso non può più far tendere al suo *massimo* la propria entropia interna (o, meglio, potenziale di Massieu, se quella esterna, non misurabile, si può solo determinare in base al rapporto tra energia interna e temperatura, in quanto dà la densità di entropia in essa contenuta): matematicamente si dimostra che, in tal caso, si va verso un *minimo* di tale grandezza. Il sistema naturale fa uso di leggi termodinamiche per opporsi a queste fluttuazioni, tendendo, in questo caso, non ad accentuare il disordine, ma a creare ordine. È questo, in un sistema meno statico e più evoluto, ciò che Prigogine chiama “ordine attraverso fluttuazioni”, come Enzo giustamente esemplifica.

Se non vogliamo fare né la fine dei *dinosauri*, obbligati dal loro sangue non caldo (sembra), a essere conservazionisti, aumentando solo la già esistente grande mole e le potenti corazze contro una natura rapidamente fluttuante, ma nemmeno dei *Tamagoci*, schiavi di una continua necessità di attenzione tecnologica, dobbiamo saper capire l'evoluzione come ce la insegna la natura. È questa la sostanza del contenuto di questa lezione di termodinamica di Enzo Tiezzi: l'inesorabile fluire irreversibile del tempo non solo può portare da un lato al massimo disordine, alla morte termica, ma dall'altro, in quattro miliardi di anni ha creato quel mirabile insieme di vita, con la sua enorme biodiversità, in quanto in grado di opporsi a fluttuazioni; anzi, capace di fare di questa opposizione il suo punto di forza nel creare ordine. A noi il compito di capirne le leggi, di applicarle all'ambiente e in particolare a questo labile ecosistema che è la laguna di Venezia, che più ne ha bisogno.