



## La passeggiata nel bosco di un fisico tecnico

Carla Balocco <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Università degli Studi di Firenze; carla.balocco@unifi.it

### INTRODUZIONE

Prima di tutto vorrei spiegare il motivo di questo titolo; il perché di una passeggiata e non un ragionamento, una speculazione, una teoria sul bosco. Il passeggiare è come il pensare e spesso si intrecciano, coesistono. Il pensiero è sempre e comunque un errare, nel duplice senso del verbo: sbagliare e camminare errando.

D'altra parte, passeggiare significa essere, stare in un luogo muovendosi, quindi in sostanza essere già entrati nel bosco e camminare pensando. La passeggiata nel bosco è allora il mio modo di vedere e ragionare sul bosco, o anche il verde in generale. Sono un fisico tecnico e faccio ricerca. Nella ricerca si procede a tentoni, ossia si va avanti per tentativi cercando di imparare dagli errori compiuti. La ricerca come un qualsiasi testo non ha fine. Mi accingo a scrivere pensieri, idee, impressioni, suggestioni, rappresentazioni mentali che ho quando penso/passeggio nel bosco, e cerco di capire il bosco che mi circonda.

Ma poiché sono un fisico tecnico ho sicuramente un *modus operandi* e *videndi*, molto diverso da coloro che si occupano di botanica, selvicoltura, scienze forestali, ma anche solo di biologia e chimica. Tutti parimenti ci occupiamo di fenomeni fisici reali o almeno pensiamo, cerchiamo di capire e ragionare, di fare scienza.

Se si considerano le scienze, qualsiasi trattato, libro o articolo inerente, non è mai definitivamente concluso dal punto di vista semiologico, metodologico, comunicativo. È di fatto un'opera aperta, sebbene alcune sue parti possano essere risolte e compiute (come possono esserlo ad esempio gli esperimenti, le misure, le modellazioni numeriche, i calcoli e le elaborazioni).

Ciò implica che quanto scrivo qui di seguito, non ha la pretesa di essere esaustivo e non lo vuole essere. Si pone piuttosto come stimolo per un approccio mentale, per il capovolgimento del modo "tradizionale" di ragionare, di acquisizione di una visione sistemica capace di identificare le connessioni di temi e tematiche a loro volta molto complessi.

Un testo dunque, come questo che segue, può risultare tanto più significativo ed utile, quanto più impiegato senza voler a tutti i costi "dare un senso univoco" alla sua interpretazione ed al suo uso. Interpretazione ed uso del testo sono sicuramente modelli astratti, ma solo la lettura che ha sempre origine da entrambi, può portare a percezioni, idee, pensieri e soluzioni che trovano spazio ed applicazione anche in campi apparentemente distanti da quelli affrontati nel testo stesso.

In questo senso, vorrei evidenziare la forma e la struttura di quanto scritto, nella loro acce-

zione semiosica, cioè che il testo che segue si attiva anche attraverso l'apporto di chi legge, riflette ed analizza.

La forma è l'oggetto concreto di uno studio, di un testo, la struttura è il sistema di relazioni e connessioni che si instaurano fra i suoi livelli o fasi di lettura e comprensione e che comportano interdisciplinarietà, analisi, ragionamenti, interpretazioni e rappresentazioni, richiamo di conoscenze e cultura.

In più occasioni di confronto, pubblicazioni e dibattiti congressuali, ho considerato un qualsiasi testo come forma e struttura, cioè informazione, insieme di contenuti informativi utilizzabili, ed informatività cioè possibilità massimale di produrre nuova informazione. L'informazione è il contenuto informativo, l'insieme dei segnali che costituiscono un messaggio, che viene poi trasmesso ed appartiene ad un qualsiasi sistema, concetto, ragionamento (Balocco e Grazzini, 2000; Balocco *et al.*, 2004).

La passeggiata in un bosco, implica entrare nel bosco percorrendolo e pensando, e quindi possibilità di perdersi oppure possibilità di ritrovarsi, di recuperare le proprie isole di memoria, le proprie esperienze vissute e passate proprio nel bosco.

Tutti abbiamo avuto questa esperienza, da piccoli e da adulti.

Dal momento che quando si scrive, prima di tutto si scrive per un lettore, si scrive perché prima o poi il testo verrà letto, mi piace pensare che il lettore è anche colui che insieme a chi scrive, fa due passi nel bosco...

Ma quando abbiamo di fronte un bosco, le possibilità sono almeno tre. Possiamo desiderare soltanto di attraversarlo in fretta per il primo sentiero che ci pare il più probabile e facile, ed uscire quindi velocemente. Possiamo fermarci per guardare gli alberi, cercare di intravedere animali che lo abitano, financo cercare qualche piccola radura soleggiata.

Possiamo infine, avere curiosità, quindi cercare di capire quanto è esteso, di che piante è fatto, quali animali potrebbero abitarlo, se ci fossero corsi di acqua, come il sole abbia accesso e in che modo si collochi nel contesto climatico, in particolare, rispetto al vento e addirittura quanto possa essere piacevole per chi vi entra.

#### L'APPROCCIO DELLA FISICA TECNICA E L'ANALISI SISTEMICA

Iniziamo col fare mente presente su cosa sia la fisica tecnica, perché di fatto spesso si ignora il vero significato teorico e pratico operativo di questa scienza, prima ancora che disciplina o campo disciplinare. La fisica tecnica è un settore della fisica applicata, da cui la denominazione, che studia le trasformazioni ed interazioni dell'energia con la materia; ha ampi campi di applicazione, da cui la sua importante trasversalità, spaziando dall'ingegneria meccanica, ingegneria civile, bioingegneria, chimico-fisica, medicina, biologia, chimica, restauro e scienze della conservazione, progettazione tecnologica ed architettonica (Bejan, 1988). I settori della fisica tecnica sono la termodinamica applicata, la trasmissione del calore, la termofluidodinamica e l'illuminotecnica come progettazione e controllo della luce naturale ed artificiale.

La Fisica Tecnica fornisce strumenti di analisi, studio e pensiero che consentono di affrontare qualsiasi sistema, *in primis* l'ambiente che è la nostra più importante risorsa.

Qualsiasi oggetto, corpo e/o fenomeno fisico è un sistema termodinamico aperto che scambia massa ed energia con il proprio contorno attraverso un confine in condizioni di regime transiente.

Esso tende sempre a portarsi in equilibrio con l'ambiente che lo circonda. La sua soste-

nibilità, che è sostenibilità energetica, traccia la sua stessa configurazione o struttura/forma cioè l'organizzazione spaziale ottimale dello stesso sistema (Bejan, 1988).

La consapevolezza della limitatezza delle risorse e del loro crescente esaurimento, contemporaneamente agli effetti dell'inquinamento ambientale, ha portato il concetto di sostenibilità a supporto di differenti iniziative e proposte progettuali, decisionali, politiche in vari settori. Attualmente sono noti almeno dal punto di vista terminologico, concetti come: design sostenibile, progettazione sostenibile, edilizia sostenibile, eco-sostenibilità, eco-compatibilità, agricoltura sostenibile, architettura sostenibile per le specifiche accezioni di tecnologie pulite e prodotti puliti, chimica sostenibile, servizi e sistemi eco-efficienti sostenibili, nonché sviluppo economico sostenibile (*eco management financial*), *green sustainable design*, *green economy* etc. In generale si parla di sostenibilità ambientale e di sviluppo economico e territoriale sostenibile che può essere ricondotto ai seguenti obiettivi di base: riduzione degli indici di intensità di consumo energetico e di degrado delle risorse per unità di prodotto; sostituzione delle risorse energetiche non rinnovabili con quelle rinnovabili (Balocco *et al.*, 2004; Barbera e Butera, 1989). Il concetto di sostenibilità nel suo più ampio significato implica:

- la protezione dell'ambiente;
- il controllo demografico e dello sviluppo urbano;
- l'efficienza d'uso dell'energia;
- lo sviluppo per l'utilizzazione delle risorse rinnovabili;
- il controllo dell'impatto ambientale e quindi la riduzione delle emissioni inquinanti;
- il controllo dei prodotti di rifiuto;
- l'analisi delle possibilità di riciclo;
- l'analisi e la valutazione del ciclo di vita dei prodotti e dei processi.

In quest'ottica sono noti anche gli indicatori di sostenibilità che possono essere ricondotti a specifici misuratori di sostenibilità e qualità, ad indicatori di prestazioni e/o condizioni di sviluppo sostenibile; in generale rimandano ad indicatori di:

- stato;
- pressione;
- risposta.

Ciò significa ad esempio analizzare:

- la pressione che la società pone sull'ambiente in forma di esaurimento delle risorse e di inquinamento prodotto;
- lo stato reale dell'ambiente a confronto con la condizione definita ottimale di sostenibilità;
- la risposta dell'attività umana principalmente nella forma politica e sociale di decisioni, misure alternative ed interventi.

Per ogni specifico settore il concetto/obiettivo di sostenibilità andrebbe opportunamente definito, individuando quegli indicatori e fattori decisivi che consentono la sua stessa attuazione. Molti studi rimandano ad un concetto di sostenibilità che viene definito e quantificato attraverso alcuni indici esclusivamente qualitativi. Altri rimandano all'uso di indicatori di carattere economico-monetario che analogamente qualificano un aspetto dello sviluppo sostenibile. In questi casi la sostenibilità viene riferita al tipo di approccio socio-economico, in cui peraltro alcuni indicatori come la produzione di CO<sub>2</sub>, vengono introdotti per valutare la sostenibilità ambientale collegandoli al GDP. Ciò comporta la loro scarsa connessione con la realtà fisica, nonché i sistemi energetici dell'ambiente.

Il concetto di sostenibilità va dunque definito chiaramente. A questo scopo propongo di utilizzare un tipo di approccio termodinamico. Seguendo quest'ultimo, il concetto di so-

stenibilità va inteso nei termini di sostenibilità energetica, cioè qualità energetica sostenibile (ambientalmente/naturalmente sostenibile).

Per mezzo della termodinamica è possibile definire ed usare indicatori che quantificano la sostenibilità così definita. Ad esempio sarebbe possibile definire alcuni indicatori termodinamici connessi alla teoria dell'informazione e quindi indicatori di neg-entropia che permettono di studiare e quantificare la sostenibilità energetica ambientale e quindi di quantificare la complessità di un sistema ambientale naturale (Balocco e Grazzini, 2000; Balocco e Verdesca, 2007). Tenendo conto del Secondo Principio della Termodinamica, la reale sostenibilità può essere raggiunta solo quando il flusso totale di entropia dovuta alle irreversibilità prodotte dalle attività umane e dai vari processi, è più basso del flusso di neg-entropia (informazione) che proviene dal sole. L'uso dell'energia come pure di quella rinnovabile, produce comunque entropia irreversibile; porre come obiettivo la sostenibilità significherebbe ridurre questo flusso di entropia irreversibile in modo almeno confrontabile con il flusso di degradazione dell'energia solare, quando assorbita dalla terra.

Dal punto di vista della sostenibilità e dello sviluppo sostenibile la valutazione di un bene e di una risorsa non può basarsi su un approccio di tipo puramente economico, poiché implica un concetto di beneficio più complesso ed ampio. Domandare, ad esempio, alla popolazione, quanto sarebbe disposta a spendere per un parco urbano, implica l'analisi e la valutazione del concetto di sviluppo e di crescita dal punto di vista della sostenibilità del parco (Bateson, 1988). Questo stesso quesito può essere analizzato e valutato per mezzo della teoria dell'informazione. Il soggetto sarà disposto a pagare per quel bene o quella risorsa non solo in funzione di quanto e come ne è informato, ma in relazione a quanto quello stesso bene o risorsa

gli permettono di migliorare la sua condizione e qualità di vita, e di accrescere in termini assoluti il livello di conoscenze (contenuto informativo).

L'applicazione della Fisica Tecnica e di alcuni suoi recenti sviluppi come la *Building Environmental Physics* e la *Constructal Theory* (Çengel e Boles., 2000; Bejan, 1997), possono delineare un filo conduttore comune, tra progettisti e tecnici, storici e conservatori, paesaggisti, agronomi e forestali, orientati alla definizione di soluzioni tecnologiche ed impiantistiche basate su principi di sostenibilità, reversibilità, adattività ed acclimatizzazione, che porta alla conoscenza, al controllo fino alla misura, monitoraggio in continuo, modellazione e simulazione dei parametri fisici, chimici ed ambientali, per la migliore conservazione e tutela degli edifici, dei materiali, dei sistemi naturali, dei boschi, della biodiversità, insomma, dell'ambiente. Essi sono anche il cruciale supporto per un *wellbeing* inteso come processo maturazionale e di arricchimento, innescato dalla esperienza di un ambiente naturale dinamico in evoluzione e trasformazione continua, il bosco.

La complessità dei sistemi e la loro sostenibilità possono essere affrontati, studiati e compresi, solo con approcci metodologici interdisciplinari ed integrati che poggino su una visione sistemica. Quest'ultima è in grado di attivare una sorta di *firing* (accensione attiva) di connessioni costruttive in un processo dinamico, creativo per la lettura dell'ambiente, di cui il bosco ne è la più estesa ed importante parte. Il funzionamento di qualsiasi sistema è un processo integrato e ogni separazione è controproducente sia da un punto di vista fisico, che energetico ed economico. La sostenibilità poggia proprio su questa consapevolezza dell'impossibilità di separare, frazionare i sistemi. Dunque, lo schema di organizzazione di un sistema (reale e vivente) è sempre uno schema a rete.

L'ambiente-bosco è una totalità integrata, un sistema complesso termodinamico aperto che scambia massa ed energia, le cui proprietà formali, ambientali, territoriali, strutturali ed energetiche non possono essere ricondotte univocamente a quelle delle parti che li compongono.

L'approccio metodologico sistemico che sosteniamo e proponiamo fornisce la capacità di spostare l'attenzione tra i vari livelli del sistema. Esistono sistemi inseriti dentro altri sistemi e, a ciascun livello, i fenomeni osservati mostrano proprietà che non esistono a livelli inferiori, pertanto le proprietà delle parti o sottosistemi, non sono proprietà intrinseche assolute, ma si possono comprendere solo in un contesto più ampio ed interconnesso. La lettura termodinamica del bosco consente di interpretare e comprendere la rete di relazioni che costituiscono il sistema stesso. Del resto gli stessi edifici, gli impianti, gli utenti/fruitori, l'ambiente naturale, il paesaggio, come il bosco, sono reti di relazioni inserite all'interno di reti più grandi in continua trasformazione. Poiché tutti i componenti di una rete autopoietica sono prodotti da altri componenti nella rete, l'intero sistema è organizzativamente chiuso, sebbene sia aperto al flusso di materia ed energia.

L'approccio che viene qui proposto, porta alla possibilità di una programmazione sistemica, di una produzione ed uso sistemico dell'energia e quindi alla sostenibilità energetica, con il passaggio da una "comunità di consumo" ad una "comunità dell'energia" con cui i produttori e i consumatori (di risorse e di energia) condividono processi produttivi su piccola scala distribuiti a rete sul bosco, sul paesaggio che sconfinava nel territorio, nella città, nel quartiere.

Lo stesso bosco è una comunità complessa di scambio ed arricchimento energetico.

## IL BOSCO ATTRAVERSO LA VISIONE DELLA FISICA TECNICA

Premesso che chi vede è la mente, gli occhi sono solo uno strumento estremamente sofisticato e sensibile al contrasto, tant'è che tutti guardano ma pochi vedono, la visione è dunque percezione e come tale un sistema complesso di trasduzione di segnali e di creazione interpretazione attiva in continua trasformazione, cambiamento.

In estrema sintesi, il processo dell'intelligere...

Allora, un qualsiasi testo, di qualsiasi argomento tratti, è potenzialmente senza fine. Così come non può esserci una unica teoria sempre valida, ma un insieme-sistema di "sentieri (della mente) interrotti" ovvero tanti modi di vedere ed interpretare i fenomeni fisici, tutti validi ed equipollenti se collegati al pensiero, alla teoria. In sostanza cerchiamo nella natura le leggi che abbiamo costruito nella mente (Einstein diceva "La maggior parte della scienza umana è una costruzione basata sull'immaginazione."). Ma è proprio l'insieme attivo, dinamico della costruzione, dell'idea mentale con l'esperienza, che costituisce la ricerca e quindi la base fondamentale della scienza perché discussa, provata, confrontata, misurata, validata.

Non esiste allora una separazione drastica, una demarcazione differenziale, tra "teoria e pratica" nella ricerca e quindi nella scienza. Le cosiddette "teorie" sono dedotte dalla sperimentazione e dalla ricerca, da esperienze/cosmoscienze anche pratiche, concrete.

Affrontare un qualsiasi progetto o analisi, in soli termini funzionalisti e pragmatici, dimenticando la visione sistemica che richiede scienza e ricerca, può portare ad una soluzione tra le tante, sicuramente rispondente ai limiti di normativa, financo alla riduzione dei consumi energetici, ma porrebbe la questione

del devastante concetto di “schema”, di schematizzazione e di riduzione del progetto stesso al controllo della sola quantità e non qualità (Ciancio, 2010; Ciancio e Nocentini, 1996; Ciancio, 1994). Nel momento in cui vi è una società, ogni uso si converte in segno di quell’uso...

Solo apparentemente la fisica tecnica e le discipline agrarie, forestali, biologiche, ambientali, territoriali sembrano “non comunicare” ma “funzionare”.

In realtà tutti i fenomeni fisici, che implicano scienza e ricerca, sono sistemi di segni e quindi essenzialmente comunicazione.

Il bosco quindi comunica ed è un sistema termodinamico aperto e complesso. Trascurando le specie animali e la loro interazione con il bosco, il confine di scambio può essere tracciato al di sopra del terreno o al di sotto di esso. Il criterio dell’approccio sistemico non cambia. Cambiano la scala di indagine, il confine e le condizioni al contorno. Il sistema al di sopra del terreno è in verità costituito da tanti sottosistemi, quali: il terreno a contatto con l’aria, l’aria stessa, l’insieme della vegetazione, il sole ed il cielo, eventuali superfici di acqua. L’insieme di questi sottosistemi tutti interrelati e connessi, tanto da avere e produrre effetti sinergici, nei suoi scambi di massa e di energia è caratterizzato da scambi evapotraspirativi, evaporativi diretti, scambi di calore latente e sensibile, scambi termici radiativi o radianti, scambi termici convettivi e conduttivi. Il sistema al di sotto del terreno è costituito da sottosistemi a loro volta interconnessi che saranno diversamente interessati dalla radiazione solare, dalla presenza dell’aria, dalla presenza delle chiome e dei fusti rispetto agli apparati radicali etc. Nulla vieta di tracciare il confine del sistema termodinamico pensato e studiato nell’intorno della sola vegetazione o di una unica foglia. Dipende proprio dalla scala di indagine che ci prefiguriamo e scegliamo ovviamente indotta

dall’obiettivo di studio. In quest’ottica, anche l’albero è un sistema termodinamico aperto. Applicando il Primo Principio della Termodinamica è possibile fare il bilancio energetico e quindi comprenderne il funzionamento e l’efficienza, l’uso e consumo dell’energia e delle risorse, gli apporti energetici e di massa all’ambiente circostante in relazione alla dinamica del clima locale, all’uso del suolo, ai fenomeni antropogenici. Il Secondo Principio ci dice dei limiti delle trasformazioni, ci dice e quantifica le irreversibilità dei processi ovvero ci permette di valutare la variazione di entropia prodotta dal sistema bosco in ambiente.

Per il Secondo Principio, l’universo o qualsiasi sistema isolato tende spontaneamente a stati di entropia maggiore, ma si possono formare isole ad entropia decrescente, “isole di rigradazione”: “...nelle parti non isolate di un sistema isolato ci sono regioni in cui l’entropia, opportunamente definita, può essere ritenuta decrescente... Noi stessi formiamo queste isole di entropia decrescente e viviamo fra isole di questo tipo...” (Barbera e Butera, 1989; Bateson, 1988). Allora, come le piante che sono sistemi molto complessi e ricchissimi di informazione, anche i combustibili fossili che provengono da processi di trasformazione delle piante avvenuti milioni di anni fa, costituiscono un patrimonio di informazione enorme, che usiamo e consumiamo in breve tempo riducendone la disponibilità. I combustibili fossili spesso vengono usati senza tenere conto del contenuto di informazione che possiedono mentre, trattandosi di risorse non rinnovabili, dovrebbero essere impiegati solo per quegli usi finali in cui la loro qualità (dal punto di vista del Secondo Principio) è utilizzata completamente.

La sostenibilità energetica ed ambientale di un qualsiasi sistema, sulla base della teoria dell’informazione letta con il Secondo Principio, implica “l’appropriatezza” del contenuto

informativo della fonte e della risorsa energetica al contenuto di informazione richiesta al suo impiego finale (Shannon e Weaver, 1983).

Ciò significa che di solito adattiamo il contenuto di informazione del sistema utilizzato, al contenuto di informazione dell'uso: quando ciò risulta non appropriato, parliamo di spreco (Brillouin, 1962). Per la termodinamica c'è spreco se non c'è adeguamento del contenuto di informazione delle risorse e delle fonti energetiche all'uso finale.

Tornando al bosco, come sistema biologico (ecosistema), esso necessita per sopravvivere di flussi di sostanze nutritive e di energia, ma poiché i diversi processi di trasformazione della materia e dell'energia, fino agli impieghi finali, comportano, per le leggi della termodinamica, il degrado di certe quantità, in materiali di scarto ed in calore, si hanno variazioni nei flussi di informazione e quindi nella quantità di informazione complessivamente immagazzinata dal bosco stesso.

Ma proprio sulla base di questa energia (informazione, entropia) di scambio e di processo, il bosco determina ottimizzazione dell'accesso, ovvero minimizzazione della resistenza.

La vita ed il tempo del bosco, secondo la lettura termodinamica, comportano una tendenza naturale delle correnti/flussi (di materia, massa, energia) imposte a costruire percorsi di accesso ottimale attraverso sistemi/sottosistemi aperti vincolati, ma al tempo stesso, l'evoluzione naturale (miglioramenti) di questi stessi percorsi e processi, che avvengono in una direzione preferenziale associata al tempo (l'aumento di entropia, delle irreversibilità).

La termodinamica applicata al sistema bosco ci insegna anche altro...

Leggere, comprendere e capire il bosco, con la prospettiva di uno sviluppo energeticamente ed ambientalmente sostenibile e della tutela della biodiversità, significa anche poter

recuperare la nostra memoria, la nostra storia. Come nel bosco tutto viene ad avere forma e struttura per la massima produzione di entropia nel minor tempo possibile, e questo lascia una traccia fisica, spaziale e temporale, da cui hanno luogo i processi di cambiamento, di trasformazione ed adattamento, di resilienza, così nell'uomo, nella sua mente. L'organizzazione funzionale ed informazionale del bosco è comparabile a quella della nostra mente: medesima forma e struttura, a rete. Una rete di vita che si attiva tutta in sincronia e produce trasferimento di segnali, che elaborati in informazioni costruiscono memorie e creatività, altrettanta vita. Il bosco è un sistema molto complesso, ma con la lettura della Fisica Tecnica, può essere almeno affrontato chiaramente, riportandolo ad una rete di sistemi e sottosistemi termodinamici aperti interconnessi che scambiano materia, energia ed informazione. La potenza della rete sistemica bosco sta nel feedback, sincronia e plasticità di ogni suo elemento che ha pari valore, importanza e necessità per il funzionamento e lo sviluppo della rete stessa.

Per comprendere questo, probabilmente dobbiamo cambiare atteggiamento. Ovvero considerarci parte di un sistema complesso quale appunto il bosco, e non elementi fuori, financo al di sopra, salvaguardando la biodiversità ed il bosco, seguendo la sua vera natura.

Qui sta il senso ed il significato della passeggiata nel bosco...

Passeggiare, entrare e pensare nel bosco può portare a vedere la luce del sole e a capirne la sua natura. La luce che attraversa la chioma di un albero, di qualsiasi tipo siano le sue foglie, proietta al suolo sempre, forme luminose rotonde...!

Come da fisico tecnico *vedo il bosco*, vorrebbe fornire un'impressione, una posizione di pensiero, non ricette, soluzioni, ma prospettive per formulare nuove domande.

## BIBLIOGRAFIA

- Balocco C., Grazzini G., 2000 - *Thermodynamic parameters for energy sustainability in urban areas*. Solar Energy, 69 (4): 351-356. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00069-4)
- Balocco C., Grazzini G., 2006 - *Sustainability and information in the urban system analysis*. Energy Policy, 34 (17): 2905-2914. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.04.022>
- Balocco C., Papeschi S., Grazzini G., Basosi R., 2004 - *Using exergy to analyze the sustainability of an urban area*. Ecological Economics, 48: 231-244. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.08.006>
- Balocco C., Verdesca D., 2007 - *Shannon entropy and Information Theory for energy technologies ex ante evaluation*. International Journal of Environmental Technology and Management (IJETM), vol 7: 197-217. <https://doi.org/10.1504/IJETM.2007.013245>
- Barbera G., Butera F.M., 1989 - *Diffusion of innovative agricultural production systems for sustainable development of small islands: a methodological approach based on the science of complexity*. Environmental Management, 16 (5): 667-679. <https://doi.org/10.1007/BF02589020>
- Bateson G., 1988 - *Verso un'ecologia della mente*. Adelphi.
- Bejan A., 1977 - *Constructal-theory network of conducting paths for cooling a heat generating volume*. Int J. Heat Mass Transfer, 40. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(96\)00175-5](https://doi.org/10.1016/0017-9310(96)00175-5)
- Bejan A., 1988 - *Advanced Engineering Thermodynamics*. Ed. Wiley.
- Brillouin L., 1962 - *Science and information theory*. Academic Press, New York.
- Çengel Yunus A., Boles Michael A., 2000 - *Thermodynamics. An engineering approach*. Mc. Graw Hill.
- Ciancio O., 1994 - *I diritti del bosco*. L'Italia Forestale e Montana, 49 (5): 445-445.
- Ciancio O., 2010 - *La teoria della selvicoltura sistemica. I razionalisti e gli antirazionalisti, le "sterili disquisizioni" e il sonnambulismo dell'intelligenza forestale*. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze. <https://doi.org/10.4129/selv-sis>
- Ciancio O., Nocentini S., 1996 - *Il bosco e l'uomo: l'evoluzione del pensiero forestale dall'umanesimo moderno alla cultura della complessità. La selvicoltura sistemica e la gestione su basi naturali*. In: Il bosco e l'uomo (a cura di Orazio Ciancio). Firenze, Accademia Italiana di Scienze Forestali.
- Shannon C.E., Weaver W., 1983 - *La teoria matematica delle comunicazioni*. Etas Libri.