



Convegno di EcoOne
Sostenibilità ambientale e questione energetica
Castel Gandolfo, 14 – 16 maggio 2010

L'energia in natura
Stefania Papa¹

“Quando non c'è energia non c'è colore, non c'è forma, non c'è vita”
(Caravaggio)

La radiazione solare è la principale fonte di energia che mantiene in funzione il pianeta. Essa raggiunge la superficie terrestre sotto forma di fotoni (quanti di energia), che, entrando in contatto con l'atmosfera, la crosta terrestre e le superfici acquatiche, vengono trasformati in un'altra forma di energia, il calore, in grado di riscaldare la Terra e l'atmosfera, di determinare il ciclo dell'acqua e di generare correnti d'aria (ossia il vento) e d'acqua.

Dell'energia proveniente dal Sole, sotto forma di radiazione prevalentemente visibile, in media (fig. 1):

- il 30% è riflesso (6% dall'atmosfera², 20% dalle nubi, 4% dalla superficie terrestre),
- il 19% è assorbito da atmosfera e nubi,
- il 51% è assorbito da terre e oceani.

Le terre e gli oceani, a loro volta, emettono verso lo spazio radiazione prevalentemente infrarossa. Continuando a riferire le percentuali all'energia proveniente dal Sole (100%), il 51% assorbito da terre e oceani è in parte irradiato verso lo spazio (6%) e in parte

¹ I punti di vista espressi sono quelli degli autori e come tali non necessariamente riflettono l'opinione di EcoOne che non è responsabile per l'utilizzo delle informazioni qui contenute.

² In questo contesto, il termine “atmosfera” indica l'atmosfera priva di nuvole.



trasferito ad atmosfera e nubi con i seguenti meccanismi: conduzione³ e convezione⁴ (7%), evaporazione e condensazione con il conseguente rilascio del calore latente⁵ (23%) e assorbimento da parte dell'atmosfera (15%). Infine, atmosfera e nubi irradiano verso lo spazio l'energia che hanno ricevuto da tutti i processi menzionati (64% dell'energia proveniente dal Sole). Osserviamo che l'atmosfera, al pari di una serra, è più trasparente allo spettro solare (78% su 100%, ovvero 0,78)⁶ che ai raggi infrarossi emessi dalla superficie terrestre (6% su 21%, ovvero 0,29)⁷: per questo motivo, alla capacità dell'atmosfera di trattenere parte dell'energia solare è stato dato il nome di effetto serra.

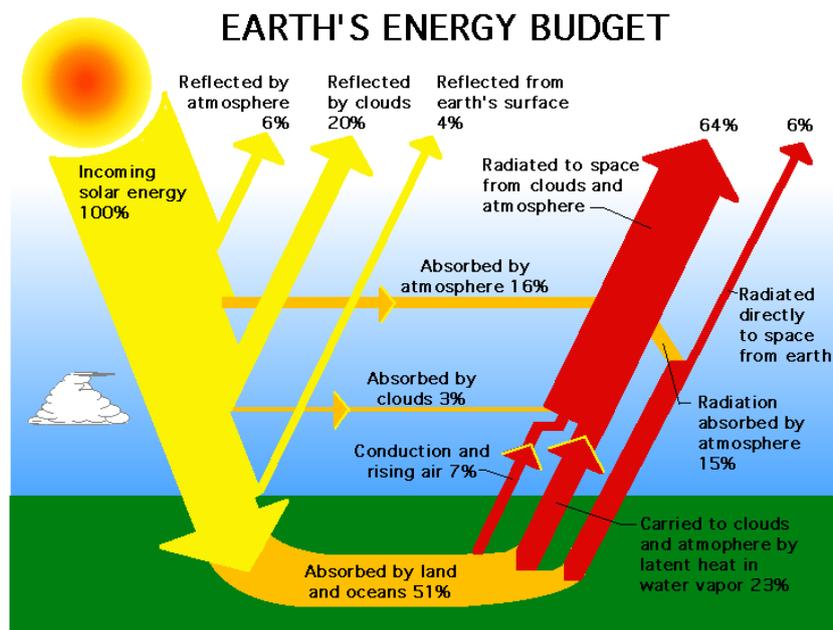


Fig. 1 Bilancio energetico terrestre.

È molto importante notare che l'effetto serra dipende dalla presenza di alcuni gas, detti appunto "gas serra", che assorbono efficacemente i raggi infrarossi. Sebbene questo fenomeno sia di per sé positivo (senza l'effetto serra la temperatura media del pianeta

³ Il calore è trasmesso per contatto tra superficie terrestre e aria.

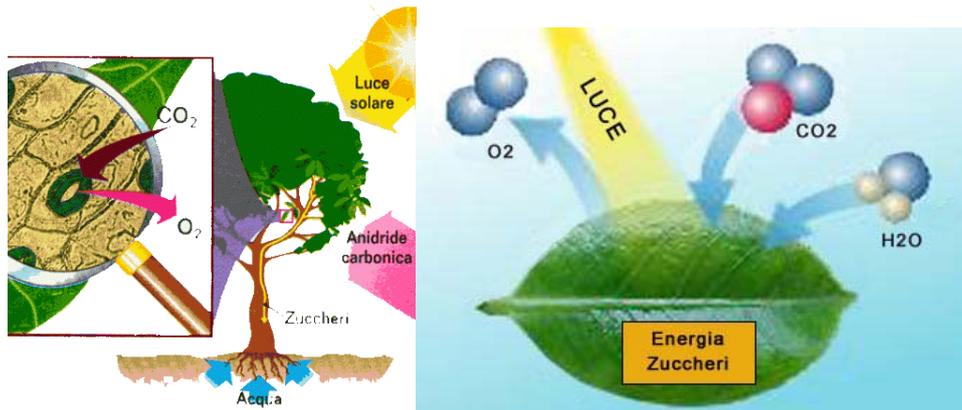
⁴ Il calore è trasferito mediante moti convettivi: la superficie terrestre riscalda le masse d'aria circostanti che salgono trasportando il calore a quote più alte. Raffreddandosi, queste masse tornano verso la superficie dove possono riscaldarsi nuovamente e ricominciare il ciclo.

⁵ Quando il vapore condensa, rilascia l'energia che era stata necessaria per farlo evaporare, detta calore latente.

⁶ Riferendo le percentuali all'energia proveniente dal sole (100%), l'atmosfera riflette il 6% e assorbe il 16%, quindi, in totale, lascia passare il 78% della radiazione solare.

⁷ Riferendo le percentuali all'energia proveniente dal sole (100%), le terre e gli oceani irradiano il 21% di cui l'atmosfera assorbe il 15% e lascia passare il 6%.

sarebbe $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ anziché $15\text{ }^{\circ}\text{C}$) un suo aumento porterebbe al riscaldamento del pianeta e, conseguentemente, a modificazioni del clima. In altre parole, la temperatura media del pianeta è frutto di un delicato equilibrio dinamico: si noti che la radiazione ricevuta dal Sole uguaglia quella emessa dalla Terra.



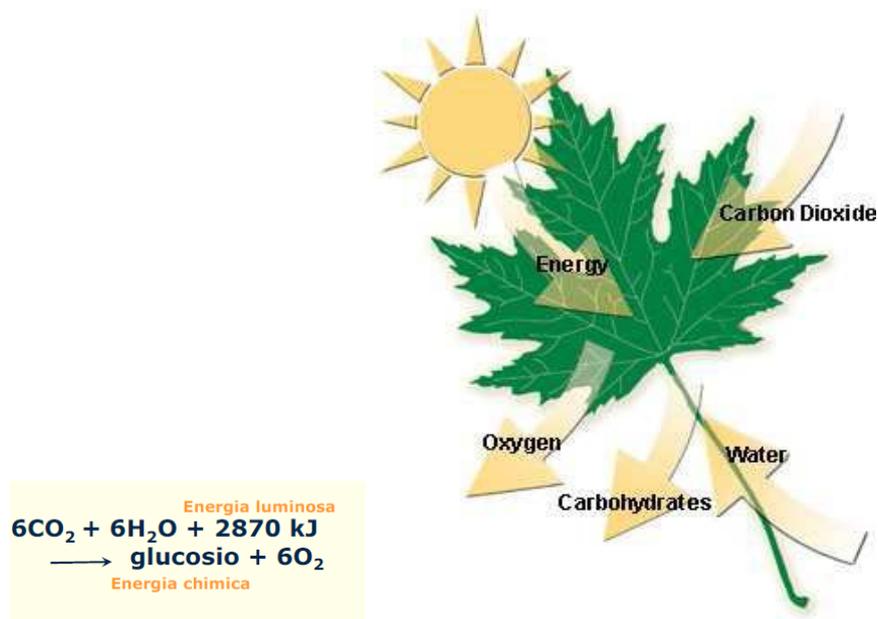


Fig. 2 Schema della fotosintesi clorofilliana.

Una volta raggiunta la Terra una piccola parte di questa energia viene catturata ed utilizzata dagli organismi autotrofi fotosintetici per la trasformazione della sostanza inorganica in sostanza organica attraverso la fotosintesi clorofilliana (fig. 2). In questo modo l'energia solare, fonte di quasi tutta l'energia biologica, viene immessa nei viventi attraverso la produzione di composti organici ottenuti per riduzione di CO_2 . Solo una piccola parte dell'energia proviene, invece, dall'ossidazione di molecole inorganiche attraverso la chemiolitotrofia⁸.

L'energia accumulata all'interno degli ecosistemi è, così, in gran parte contenuta nei composti organici del carbonio presenti nei tessuti viventi e non, di animali e vegetali.

Essa, quindi, fissata dalle piante è la base da cui dipende la vita sulla Terra. Questa energia fluisce attraverso l'ecosistema tramite una serie di passaggi (predatore-preda) definiti catena alimentare. Le relazioni alimentari all'interno della catena rappresentano i livelli trofici. Da un punto di vista funzionale, tutti gli organismi che ottengono energia attraverso lo stesso numero di passaggi a partire dai produttori primari (autotrofi) appartengono allo stesso livello trofico in un dato ecosistema. Il primo livello trofico è quello dei produttori primari, il secondo quello degli erbivori (primo livello di consumatori) e il livello successivo è quello dei carnivori (secondo livello di consumatori).

⁸ Organismi che ricavano energia dall'ossidazione di composti inorganici.



Per esempio un prato di trifoglio è il primo elemento di una catena alimentare. Esso è il cibo preferito per le cavallette che a loro volta costituiscono il cibo di alcuni uccelli come le cinciallegre che sono predate e mangiate dal falco. Alla sua morte il falco viene degradato da batteri decompositori che, in questo caso sono colonie di *Serratia*⁹.

Alcuni consumatori occupano un solo livello trofico, ma molti altri, come gli onnivori¹⁰, occupano più di un livello.

Naturalmente, le catene alimentari sono descrittive e rappresentano un'espressione teorica di come l'energia fluisce nell'ecosistema.

I principali gruppi trofici della catena sono definiti, in base alla fonte comune di energia, come autotrofi, erbivori e carnivori. Ciascun livello trofico è collegato agli altri in modo da determinare un flusso continuo di energia.

A seconda del modo di procurarsi il nutrimento, gli organismi di una comunità possono essere divisi in produttori, consumatori e decompositori.

I produttori sono il primo anello della catena alimentare e sono costituiti dagli organismi autotrofi come piante, alghe e batteri fotosintetici che, come sappiamo, sono in grado di sintetizzare tutte le molecole organiche di cui necessitano per la propria sopravvivenza partendo da sostanze inorganiche semplici (acqua, anidride carbonica, sali minerali) ed energia solare; al tempo stesso, essi rappresentano una fonte di nutrimento per tutti gli altri organismi. Per questo, i produttori rappresentano il primo livello di nutrizione, ovvero il primo livello trofico dell'ecosistema.

I consumatori sono organismi eterotrofi. Essi vivono utilizzando sostanze organiche già prodotte, non essendo in grado di sintetizzarle autonomamente. I consumatori possono essere distinti in almeno tre ordini:

1. consumatori di primo ordine, che vivono direttamente a spese dei produttori (gli erbivori);
2. consumatori di secondo ordine, che si nutrono dei consumatori di primo ordine: sono i carnivori che si nutrono di erbivori;
3. consumatori di terzo ordine, che si nutrono dei consumatori di secondo ordine:

⁹ *Serratia* è un genere appartenente alla famiglia delle *Enterobacteriaceae*. *Serratia spp* è costituita da bacilli cosiddetti "Gram negativi", fermentanti il lattosio, che si ritrovano nel suolo, nei rifiuti, nelle acque superficiali e di scarico.

¹⁰ Organismi che si nutrono indifferentemente sia di sostanze vegetali che di sostanze animali.



sono i carnivori che si nutrono di altri carnivori.

Se i produttori rappresentano il primo livello trofico dell'ecosistema, i consumatori di primo, secondo e terzo ordine rappresentano rispettivamente il secondo, terzo e quarto livello trofico.

I decompositori sono organismi eterotrofi che si nutrono di rifiuti organici e di organismi morti; provenienti da tutti i precedenti livelli trofici. I funghi e i batteri sono esempi di decompositori tra i più diffusi; essi demoliscono e trasformano le sostanze organiche dei corpi morti delle piante e degli animali in sostanze inorganiche, rendendole nuovamente disponibili. I decompositori hanno perciò un'azione inversa a quella dei produttori: i produttori svolgono l'organizzazione, i decompositori la mineralizzazione, chiudendo il ciclo della materia nell'ecosistema.

In ogni ecosistema esistono due catene alimentari: la catena alimentare del pascolo e quella del detrito (fig. 3). Ciò che le differenzia è la fonte energetica utilizzata dal primo livello dei consumatori, ossia dagli erbivori. Nella catena del pascolo la fonte di energia è la biomassa vegetale viva, frutto della produzione primaria netta¹¹; nella catena alimentare del detrito la fonte di energia è la materia organica morta o detrito. A loro volta, gli erbivori di ciascuna catena alimentare sono la fonte di energia per i carnivori e così via. I bovini al pascolo, i cervi che si alimentano nella foresta, i conigli e gli insetti che si nutrono dell'erba in un giardino, rappresentano tutti il primo livello dei consumatori della catena alimentare del pascolo. Al contrario, numerosi invertebrati, come gli scarafaggi, i millepiedi e i lombrichi, al pari dei funghi e dei batteri, rappresentano il primo livello di consumatori della catena alimentare del detrito. Le due catene alimentari, interconnesse tra loro, sono schematizzate nella fig. 3 allo scopo di rappresentare un modello generale della struttura trofica di un ecosistema e del flusso di energia che lo attraversa. La fonte primaria di energia per la catena del detrito è costituita dalla materia organica morta e dai materiali di rifiuto che derivano dalla catena del pascolo. Questa relazione si può rappresentare con una serie di frecce che partono dai diversi livelli trofici della catena del pascolo e li collegano alla casella indicante il detrito o materia organica morta.

¹¹Velocità con cui l'energia radiante viene convertita in materia organica e rappresenta, quindi, l'energia disponibile per la componente eterotrofa dell'ecosistema.

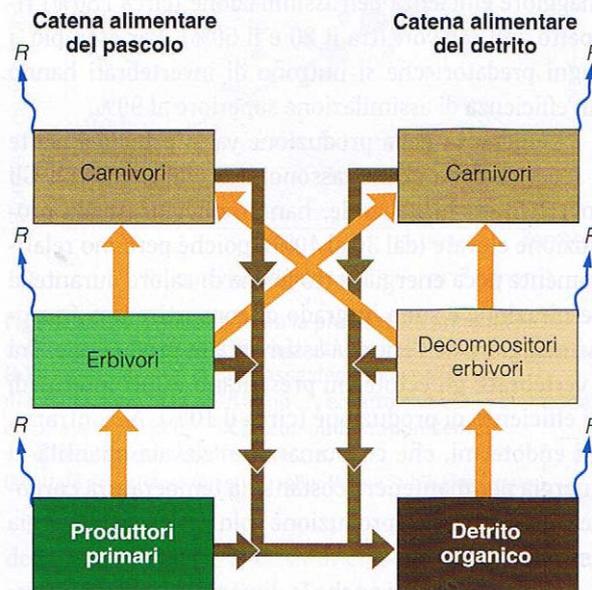


Fig. 3 Le due componenti funzionali di ogni ecosistema: la catena alimentare del pascolo e quella del detrito. Le frecce arancioni, che collegano i livelli trofici, rappresentano il flusso di energia associato all'ingestione del cibo. Le frecce blu, che partono da ciascun livello trofico, indicano la cessione di energia attraverso la respirazione. Le frecce marroni rappresentano l'insieme della materia organica morta (biomassa non consumata) e dei prodotti di rifiuto (feci e urine).

Esiste una differenza fondamentale nel flusso di energia tra i diversi livelli trofici nelle due catene alimentari: nella catena del pascolo il flusso energetico è unidirezionale, con la produzione primaria netta che rappresenta la fonte di energia per gli erbivori, che a loro volta lo sono per i carnivori e così via; nella catena alimentare dei decompositori, invece, il flusso energetico non è unidirezionale. I rifiuti e la materia organica morta sono "riciclati" già all'interno di ciascun livello trofico e ritornano sotto forma di input nella casella della materia organica morta, ossia alla base della catena alimentare del detrito. Inoltre, la separazione tra le catene alimentari del pascolo e del detrito è spesso meno chiara ai livelli trofici più alti (i carnivori), poiché di solito per i predatori è indifferente che le prede si nutrano di vegetali o di detrito. Per esempio, la dieta di un uccello insettivoro può includere sia specie di coleotteri detritivori, sia specie che si nutrono di foglie verdi.

Nei diversi ecosistemi, pur variando gli organismi, non cambia la sequenza trofica. Infatti i produttori costituiscono sempre il primo livello, i consumatori costituiscono i tre livelli trofici successivi, mentre i decompositori utilizzano gli scarti e i residui di tutti i livelli precedenti.



Fig.4 Struttura della piramide alimentare

Nella dinamica degli ecosistemi, dunque, la materia organica prodotta passa continuamente da un livello ad un altro della catena trofica e, ad ogni passaggio di livello trofico, l'energia accumulata diminuisce (fig. 4), ma la sua qualità, cioè la capacità di compiere un lavoro, aumenta. L'energia, sotto forma di materiale vegetale, infatti, una volta consumata dagli erbivori, viene eliminata sotto forma di prodotti di rifiuto (feci e urine). Dell'energia assimilata, una parte viene utilizzata dall'organismo per i processi metabolici, mentre la parte rimanente è disponibile per la sopravvivenza: per catturare o raccogliere cibo, per il lavoro muscolare e per riparare i danni del naturale logorio dell'organismo. L'energia utilizzata per il mantenimento viene, infine, ceduta all'ambiente sotto forma di calore. Da questo si deduce che l'energia è impiegata solo una volta e viene ceduta, sotto forma di calore, poco a poco nelle tappe successive (flusso lineare). La materia, invece, sebbene subisca una serie di trasformazioni, è riutilizzata nuovamente in maniera ciclica nell'ecosistema. Visto che ad ogni passaggio si consuma energia è necessario un continuo rifornimento di questa risorsa. Ciò è possibile grazie al Sole.



In un ecosistema nulla viene sprecato ma tutto si trasforma. Così quando un consumatore o un produttore muoiono, l'energia accumulata sotto forma di materia organica viene riciclata grazie a organismi fondamentali: i decompositori, che, come già detto in precedenza, degradando organismi vegetali e animali morti, mineralizzano e restituiscono al terreno la materia organica che le piante hanno assorbito per produrre le sostanze nutritive. Essa può quindi rientrare nel ciclo energetico, rendendosi di nuovo disponibile per le piante. Questo continuo riciclo della materia permette la sopravvivenza degli ecosistemi. Infatti, se i decompositori non trasformassero i resti degli organismi viventi, l'ambiente sarebbe ingombro di rifiuti: verrebbe a mancare lo spazio per le nuove generazioni e anche, con il tempo, il nutrimento per i produttori.

Naturalmente, affinché ciò si realizzi bisogna che negli ecosistemi si mantenga un equilibrio: 1) i consumatori secondari e terziari devono essere in numero inferiore rispetto ai produttori e ai consumatori primari; 2) chiusura della catena del ciclo alimentare e 3) le innumerevoli e multiformi relazioni fra gli organismi viventi (come il parassitismo, simbiosi, commensalismo) devono funzionare in modo da regolare il delicato meccanismo di un ecosistema.

Le catene alimentari sono numerose, in quanto diversi consumatori si nutrono di più tipi di cibo. Gli animali che appartengono a più di una catena alimentare collegano una catena all'altra formando una rete. Proprio per questo motivo è più giusto parlare di rete alimentare che di catena alimentare, in quanto le relazioni alimentari fra i componenti non sono lineari. Infatti un organismo o anello di una catena alimentare può appartenere anche ad altre catene, formando così una rete trofica. Un esempio di rete trofica è rappresentato nella fig. 5: le caselle rappresentano i tre livelli trofici: autotrofi, erbivori e carnivori; le frecce che collegano le caselle rappresentano la direzione in cui fluisce l'energia.

Gli ecosistemi naturali quindi rappresentano ciò che di più prezioso abbiamo nel mondo naturale, il punto di arrivo di milioni di anni di evoluzione.

A partire dalla rivoluzione industriale, le attività umane hanno determinato una notevole modificazione degli equilibri naturali.

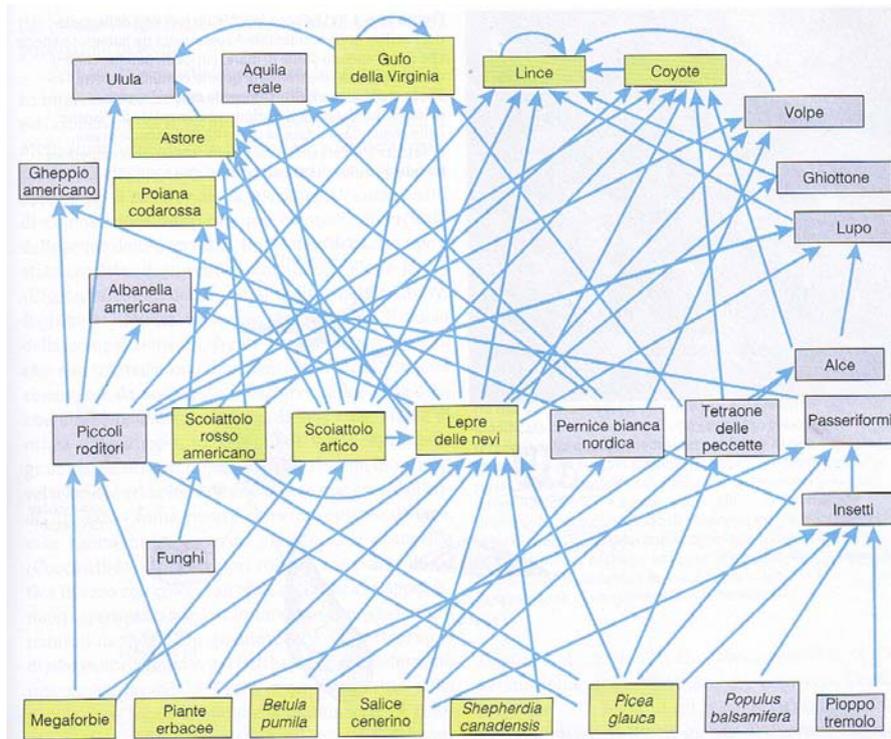


Fig. 5 Rete trofica generalizzata per le foreste boreali del Canada nord-occidentale. Le specie dominanti nella comunità vengono mostrate in verde. Le frecce collegano le specie preda con i predatori. Le frecce che ritornano sulla stessa specie (rettangolo) rappresentano episodi di cannibalismo.

La maggior parte dei cambiamenti prodotti dall'uomo è il frutto di continue modificazioni dei meccanismi che regolano l'ecosistema. Se ogni cosa ha un ruolo ed una direzione ben precisa, se i cicli disposti dalla natura sono i più idonei, nel momento in cui si altera il sistema ambientale, lo si fa solo contraendo un debito nei confronti della natura.

L'effetto delle attività umane sugli ecosistemi consiste nella redistribuzione della materia e dell'energia tra i diversi siti in cui le componenti degli ecosistemi si trovano accumulate, e nella modificazione sia della loro dimensione sia delle vie attraverso le quali esse vengono trasferite tra i diversi sistemi. In definitiva l'azione dell'uomo può essere identificata con l'interruzione dei cicli della materia e con l'alterazione dei flussi di energia.

Queste interruzioni potrebbero incidere sul delicato equilibrio termodinamico in cui si trovano gli ecosistemi, e potrebbero far aumentare l'entropia fino al raggiungimento di un massimo che porterebbe inevitabilmente alla distruzione del sistema stesso, ossia all'equilibrio termodinamico dove è azzerata la capacità del sistema di compiere lavoro.

L'evoluzione è una costante di tutto il sistema Terra, tuttavia l'uomo e gli eventi naturali



catastrofici stravolgono a tal punto le relazioni instauratesi e consolidatesi nel tempo tra componenti biotiche e abiotiche da determinare la nascita di un nuovo ecosistema, che si sostituisce gradualmente al precedente. Spesso basta modificare anche un solo "anello" dell'ecosistema per decretarne la fine.

Benché numerosi ecosistemi abbiano una intrinseca resistenza alle perturbazioni che spesso li colpiscono, se esse rimangono ad un livello sostenibile, i disturbi rappresentati dall'attività dell'uomo sono tali da non poter essere sopportati dall'ecosistema, come nel caso del taglio di una intera foresta.

Sembra a questo punto che tutto porti ad una considerazione e cioè che oggi l'uomo è quanto mai responsabile ad essere "Custode del Creato", che è la prospettiva di EcoOne, così come abbiamo appena sentito da Luca.