

“Caso e informazione nell’evoluzione biologica, nuove prospettive nelle teorie evoluzioniste”

In occasione della pubblicazione italiana del libro
L’evoluzione in quattro dimensioni
Utet Libreria

incontro con

Eva Jablonka, Università di Tel Aviv

Anna Zeligowski, scienziata e artista

coordina

Mario Gargantini

26 aprile 2007
Sala di via Zebedia,2
Milano – Giovedì 26 Aprile 2007

M. Gargantini – Non riesco a nascondere la sensazione molto stimolante che le scienze biologiche stiano vivendo un momento particolarmente cruciale e innovativo. Mentre il dibattito sui media si attarda sulle polemiche pro o contro o l'*intelligent design*, laddove si fa ricerca, mi verrebbe da aggiungere, sul serio, succedono cose che stanno cambiando lo scenario delle teorie evolutive. Lo abbiamo visto due settimane fa ad un convegno promosso dal centro di cultura scientifica di Varenna, dalla *Templeton Foundation* e dalla associazione Euresis, purtroppo poco notato dalla stampa, dove scienziati ai massimi livelli mondiali hanno chiaramente indicato i limiti del neodarwinismo suggerendo nuovi approcci e nuove piste di indagine. Ecco, in questa linea innovativa di fermento creativo si collocano le ricerche presentate in questo libro, "*L'evoluzione in quattro dimensioni*", di Eva Jablonka e Marion Lamb. Questa sera abbiamo il piacere di avere con noi una delle autrici, la professoressa Eva Jablonka che ringraziamo di avere accettato il nostro invito. La professoressa Jablonka viene da Tel Aviv dove è docente, nella locale università, presso il *Cohn Institute for the History and Philosophy of Science and Ideas*. È autrice di numerosi articoli e libri che esplorano aspetti fin'ora trascurati dell'evoluzione dei viventi. Con lei c'è Anna Zeligowski, che ha efficacemente illustrato il volume, e si può considerare coautrice del libro. Prima di dar la parola alla professoressa Jablonka, chiedo al professor Carlo Soave, del dipartimento di biologia dell'Università Statale di Milano, che per primo ci ha segnalato le interessanti ricerche di Jablonka e Lamb che hanno dato origine a questo libro, di inquadrarci brevemente il valore e la portata di questi lavori.

C. Soave – Io ho letto il libro del 2005 nella versione inglese, "*Evolution in four dimensions*", perché avevo visto su "*Nature*", una rivista molto importante nell'ambito biologico, la recensione, credo sia stato Massimo Pigliucci a recensirlo insieme al libro di Mary Jane West-Eberhard. Ho chiesto alla biblioteca biologica di acquistare il libro, la cui lettura è stata una cosa molto interessante ed entusiasmante per tre motivi. Il primo lo dirò riprendendo una discussione che ha coinvolto un caposaldo della biologia contemporanea come Maynard Smith, autore di "*The Major Transitions in Evolution*", in cui egli dice che un'idea centrale nella biologia contemporanea è quella dell'informazione. Questo è fuor di dubbio, l'informazione di come un organismo vivente trae l'informazione per essere quello che è e per trasmetterlo alla progenie è un punto fondamentale. Maynar Smith, insieme a Eörs Szathmáry, dice la biologia dello sviluppo può essere vista come lo studio di come l'informazione nel genoma è tradotta nella struttura adulta e la biologia evoluzionistica discute di come l'informazione è arrivata lì all'inizio. Quindi è un'impostazione fondamentalmente geocentrica. Marion Lamb ed Eva Jablonka la riprendono e dicono: «Il nostro

interesse per l'informazione biologica nasce dagli studi dell'eredità cellulare epigenetica, dell'eredità culturale negli animali non umani e della comunicazione simbolica della specie umana. Noi abbiamo bisogno di un'informazione biologica che abbracci l'ereditarietà delle variazioni che sono indipendenti dal DNA». Ora cosa mi ha stupito quando ho letto il libro? Noi tutti biologi sappiamo benissimo della variazione epigenetica, della trasmissione di informazione biologica mediante comunicazione simbolica e non simbolica, tuttavia non siamo mai riusciti a rimetterla dentro ad una visione abbastanza sintetica da produrre una discussione e un avanzamento delle teorie attuali. Questo è quello che hanno fatto le nostre autrici: hanno permesso di riunire tante osservazioni che nel campo scientifico già c'erano in un tentativo che è una nuova sintesi (noi tutti viviamo in un contesto, siamo figli di quella che si chiama "nuova sintesi" o "teoria sintetica"). Finché non si riesce a rimettere insieme tante nuove evidenze in una nuova sintesi è difficile andare avanti: questo è stato il coraggio e l'innovazione che hanno portato Eva Jablonka e Marion Lamb. A mio parere c'è poi un altro aspetto molto particolare: il libro, nella versione inglese come in quella italiana, ha un genere letterario molto interessante. Alla fine di ogni capitolo c'è un dialogo tra gli autori e quello che si chiama "ifstamistabra", che è quello che fa la congettura opposta. Io che leggevo dicevo "mah, di fronte a questo aspetto avrei qualche obiezione" e sono, perciò, "ifstamistabra" e allora l'autrice risponde a quelle che sono le domande che noi tutti ci saremmo posti. Quando ho letto questo modo di discutere accanitamente i punti, uno per uno, ho detto: "Se nelle nostre scuole di dottorato potessimo fare una cosa del genere sarebbe qualcosa di strepitoso!", non solo per capire cosa dicono i dati sperimentali, ma anche le conseguenze che ci sono, a partire dai quei dati, sulle concezioni generali. Io spero che si possa avere l'occasione di avere momenti come questo anche in futuro, non solo nei centri culturali, ma anche dentro le università, perché è così che funzionano le cose!

E. Jablonka – Grazie per l'invito, è una grande piacere essere qua. Questa storia inizia tanti anni fa, quando Anna e io eravamo piccole ragazzine in Israele (avevamo sette anni). Io ho scritto la storia e Anna la ha illustrata. Purtroppo il destino di questo libro è stato infausto: è andato perduto. Dopodiché abbiamo deciso che avremmo dovuto scrivere un altro libro insieme e non siamo state le sole a scriverlo, lo abbiamo scritto insieme anche a Marion Lamb, che vive nel Regno Unito ed è una grande amica e una grande collega. Questa volta il libro pare che non sia andato perduto e speriamo che non vada perso. Adesso vediamo cosa intende dire a tutti questo libro. Alcune cose sono già state dette da chi mi ha preceduto, ad ogni modo: qual è l'interesse che ci ha mosse alla produzione di questo testo? Noi volevamo capire come le informazioni vengono passate, trasmesse

da una generazione alla successiva: quali informazioni, come si trasmettono, la natura delle informazioni trasmesse e dei sistemi di trasmissione. Noi sappiamo che questo avviene per il tramite di un processo evolutivo, ma ci sono molti modi in cui si realizza questo processo evolutivo. Quando pensiamo alle informazioni e alla loro trasmissione, la maggior parte delle volte focalizziamo l'attenzione su quella che viene definita la memoria e la fedeltà nella trasmissione, ma non possiamo darlo per scontato. Adesso sappiamo di più e conosciamo meglio come va a replicarsi il dna, come viene trasmesso da una generazione all'altra, conosciamo abbastanza la sua stabilità e la sua instabilità; ma gli altri sistemi come funzionano? Pensiamo a qualcosa che tutti conosciamo e tendiamo a dare per scontato: i diversi tipi di cellula nel nostro organismo. Quello che vediamo nella diapositiva sono diversi tipi di tessuti relativi all'arto di un primate. Sono molto diversi questi tipi di tessuti e molto diversi sono anche i tipi cellulari: diversi dal punto di vista morfologico ed anche funzionale, tuttavia hanno lo stesso dna. Quando vanno a dividersi mantengono queste differenze: per esempio quando viene prodotta la pelle questa fa parte dello stesso tessuto connettivo. La domanda da porsi è allora: come è possibile che venga mantenuta questa memoria? Quindi due sono le cose che dobbiamo pensare: come viene generata questa differenziazione e, per contro, come viene mantenuta. In questo caso abbiamo preso in considerazione le cellule, quindi le unità costitutive, e consideriamo quello che avviene tra generazioni di cellule e all'interno di una generazione di cellule. Consideriamo adesso un organismo. Abbiamo due esempi di piccoli crostacei che si trovano in determinate pozze d'acqua. Possiamo vedere che sono due animali diversi, uno ha una testa dalla forma allungata, l'altro ha una testa piuttosto rotonda con un addome voluminoso: ebbene sono due gemelli identici; dal punto di vista genetico sono uguali, dal punto di vista morfologico si presentano diversamente. Ma perché sono diversi? Quello che vedete sulla sinistra è cresciuto in presenza di predatori, pertanto l'ambiente ha indotto questa modifica morfologica. Ecco un altro esempio: due topini, non esattamente due gemelli, seppur identici dal punto di vista genetico. Quello marroncino sulla destra ha seguito una dieta a base di acido folico, quello sulla sinistra no. Quello di sinistra, di dimensione spiccate e giallo, ha diabete, tendenza a sviluppare problemi oncologici e un sacco di altri problemi. Cercate di ricordare questo esempio, su cui tornerò: in questo caso è accaduto qualcosa di molto strano dal punto di vista ereditario. Come riusciamo a capire come questo avviene? Ci sono diverse morfologie e organismi che sono dotati dello stesso dna. Questa è un'immagine molto famosa già presentata in altri libri, in particolare nel testo relativo alla strategia dei geni di Wellington. Qui c'è una sfera, che se va sulla sinistra va a produrre quel tipo di topo giallognolo e obeso, se va sulla destra andrà a produrre il topino marrone; qui c'è proprio un discorso di diversi tipi di cellule. Da sotto vediamo i geni sottostanti, gli effetti di questi geni, l'interazione tra di loro e cosa vanno a creare questi geni: è come se guardassimo

l'immagine dal di sotto. Vediamo i geni, le "cordicine" che partono dai geni stessi e vediamo la connessione tra i geni, che può essere influenzata dall'ambiente circostante. Per esempio, vedete, che c'è un discorso di gene attivo o gene disattivo. Se è attivo è forte, se non è attivo non è forte. Pertanto quello che viene definito il "paesaggio epigenetico" dipende da questi modelli di attività o di inattività. Questa è un'immagine prodotta da Anna stessa e vuole farci vedere quelli che sono gli input nello sviluppo degli esseri umani, nonché gli input della ereditarietà (per "ereditarietà" intendiamo la trasmissione delle informazioni da una generazione alla successiva). Sulla destra vediamo degli input ben noti a tutti (sto parlando del dna, fondamentale per lo sviluppo), ma vediamo anche un input che ha a che fare con il citoplasma. Inoltre noi sappiamo che il dna è uno dei componenti dei cromosomi, pertanto i genitori trasmettono ai figli certo il dna, ma anche questi "pezzi" di cromosomi associati al dna stesso. Quindi noi sappiamo che questo va a influire sullo sviluppo da un lato, ma anche sulla ereditarietà dall'altro e il termine a ciò collegato è "epigenetico". Un'altra componente davvero fondamentale, la terza: l'utero all'interno del quale va a svilupparsi il bambino. L'ambiente uterino è veramente fondamentale per lo sviluppo, lo sappiamo e adesso acquisiamo costantemente ulteriori conoscenze rispetto a questo. Tra l'altro lo sviluppo intra-uterino è importante anche ai fini della comprensione di eventuali patologie, soprattutto quelle croniche. Al centro c'è l'immagine della madre che allatta al seno il bambino, quindi cosa trasmette fisicamente al bambino? Il latte naturalmente e con esso viene convogliata l'energia. Ma la madre tiene anche in grembo il bambino e pertanto c'è un contatto fisico con lo stesso, quindi fra la mamma e il bambino. Quindi per il tramite del latte viene trasmessa l'energia, viene trasmessa la sostanza, però vedete questo va a influenzare anche quelle che saranno le preferenze alimentari del bambino e questo va a influenzare anche sull'eventuale sviluppo di patologie, in quanto influisce sugli anticorpi. Ecco, poi vi darò un esempio che è solo uno dei tantissimi che si possono fare. Un esempio di come questo vada ad influire sullo sviluppo e sulla ereditarietà. Ecco, vedete come tutto intorno ci sia la "grande madre", vale a dire la cultura, cultura che va a racchiudere tutto questo e la cultura circostante è molto importante sia per lo sviluppo che per la ereditarietà. In questa slide vediamo riassunto un po' tutto: abbiamo parlato di cinque madri e tra l'altro, non si offendano i padri, la figura paterna è importantissima e ai fini di semplificare la presentazione si preferisce parlare di un solo genitore, in ogni caso vedete questi input: c'è il fornitore delle risorse genetiche, cioè il DNA, il fornitore della parte non DNA della cellula-uovo, quindi parte nucleare citoplasmatica, il fornitore di quello che è il primo alimento e quindi parliamo dell'utero e successivamente alla nascita dell'allattamento al seno, quindi del latte. E poi abbiamo la figura che fornisce una casa e quindi la cura, quindi l'assistenza, la cura del soggetto che è nato, e quindi i fornitori per l'appunto, di quella che è l'educazione sociale. Dunque noi conosciamo il discorso dell'ereditarietà del DNA,

ma io di cosa voglio parlare nelle fattispecie? Voglio parlare di cosa avviene durante lo sviluppo che poi viene ereditato. Che cos'è questa eredità evolutiva che avviene successivamente allo sviluppo: si parla della eredità delle variazioni fenotipiche e ha precisato, quando si tratta di fenotipo, si parla di "quello che io vedo", si parla cioè della manifestazione esteriore. Ebbene, si tratta per l'appunto dell'eredità di variazioni fenotipiche che non dipendono dalla variazione della sequenza del DNA, dalla presenza persistente di segnali inducenti per l'appunto, nell'ambiente presente, corrente, e include altresì la eredità delle variazioni del DNA che sono regolate, disciplinate e erette dai sistemi di controllo epigenetici. Va da sé che non ho il tempo di scendere nei dettagli di tutte queste cose e tra l'altro ecco perché avete davanti a voi un libro obeso, un po' grassoccio. Noi non volevamo inizialmente che assumesse queste dimensioni, ma poi è cresciuto fino a raggiungere queste dimensioni notevoli. Voglio trasmettervi però quello che è il gusto, il senso di questo libro e vi parlerò dunque di queste cinque grandi madri. Questa è la cosa importante: allo stato attuale non possiamo permetterci di ignorare le altre quattro grandi madri, quelle che vanno ad aggiungersi alla grande madre DNA, per così dire dobbiamo considerare anche gli altri quattro modi di trasmissione delle informazioni. Non si sta parlando assoluta, mente di casi isolati; la mole delle esperienze relative è veramente notevole. Qui abbiamo una modalità di trasmissione per tramite del DNA e quindi genetica, poi abbiamo questa ricostruzione dello sviluppo che va da corpo a corpo, poi abbiamo l'influenza dell'ambiente sociale e poi abbiamo un discorso di influenza di quelli che sono gli elementi simbolici.

La cosa che veramente risulta essere maggiormente difficile per chi è cresciuto nella convinzione che l'unica modalità di trasmissione di questa informazione sia il DNA, è comprendere l'aspetto epigenetico, non genetico: epigenetico. Ebbene: abbiamo appreso molto negli ultimi quindici anni relativamente a questi sistemi, e cioè come sia possibile che una cellula diventi, che so, una cellula dei reni e un'altra una cellula del fegato. Entrambe hanno una loro funzionalità che viene trasmessa da una generazione a un'altra in modalità stabile. Quindi abbiamo acquisito conoscenze su come sia possibile acquisire due genotipi geneticamente identici che operò a livello fenotipico, e quindi dell'apparenza esteriore, siano diversi, ma siano diversi dal punto di vista ereditario. Tempo fa, tempo addietro, quando non avevamo ancora acquisito queste conoscenze pensavamo che ciò non fosse possibile, adesso sappiamo che ciò è possibile e non solo sappiamo che ciò è possibile ma abbiamo anche appreso la biochimica sottostante. Ebbene, noi abbiamo acquisito maggiori conoscenze dettagliate a livello biochimico su questi meccanismi ereditari epigenetici sottostanti a queste forze. Le forze sono per l'appunto questi *loop* che si autosostengono, l'eredità strutturale, il marking della cromatina e l'eredità mediata dall'RNA. Non posso scendere nei dettagli di questi meccanismi, non ce n'è il tempo, quello che vi illustro adesso è un esempio decisamente semplice

di questi *loop* che si autosostengono. Noi da questa illustrazione possiamo notare che ci sono due stati di un gene: inattivo o attivo. Nel caso in cui un gene sia inattivo, questo viene ereditato da una generazione di geni all'altra, pensiamo al caso dei batteri. Nel caso di un gene che si presenta allo stato attivo avviene una regolamentazione tramite la quale è possibile riuscire a riprodurre questo tipo di influenza sul fenotipo e c'è quindi questo feedback positivo continuo. E quando la cellula si divide va a trasmettere queste caratteristiche alla cellula figlia, e c'è questa continuità, questo feedback continuo. Per l'appunto, riassumendo ci sono questi due tipi di cellule, geneticamente identiche, che si possono presentare in due stati che vengono trasmessi con stabilità. La cosa che è importante da notare è questa: allo stato presente, c'è uguaglianza. Quindi il fattore che ha fatto la differenza è la storia, il passato, ciò che è stato a monte, a livello degli antenati. Questo è un *loop* veramente semplice, ce ne sono di molto più complessi, questo comunque è quello iniziale. Vediamo un altro esempio, un tipo di ereditarietà strutturata. Parliamo di proteine, una proteina può avere due forme: una oblunga e l'altra quadrata. Diciamo che quella quadrata sia la norma. Ma nella misura in cui avviene qualcosa per cui si viene a formare questa proteina di forma allungata, quando ciò avviene, questa proteina di forma allungata va ad attaccarsi a quelle di forma quadrata e la allunga, e questo va a perpetuarsi nel tempo. Questo è un altro esempio di eredità di quelle cose che stanno sopra il DNA. Qui parliamo infatti di metilazione. Lo stesso DNA, in questo caso, si tratta di capire qual è il sistema di copia della replicazione, si tratta dello stesso DNA che viene copiato con uno o due gruppi di metilazione. Una volta che lo stato iniziale viene a determinarsi, questo va a determinare questi due pattern, questi due modelli diversi di metilazione. Vedete che nel caso della mutazione che ho appena illustrato non solo c'è l'ereditarietà da una generazione di cellule alla successiva, ma questo va a influire sulla espressione genica, ovvero sullo stato di attivo e non attivo del gene. Naturalmente questo non è l'unico tipo, abbiamo poi un esempio piuttosto specifico, esempio di marking della cromatina; dipendono dalle proteine ma il concetto di base sottostante è lo stesso, cioè sfruttare la complementarità e quindi questa replicazione del DNA semiconservativa. C'è poi qualcosa di ancora nuovo, nuovissimo, scoperto alla fine degli anni novanta; anche qui non posso scendere nei dettagli perché innanzitutto sarebbe molto complicato, poi perché effettivamente non ci rimane molto tempo a disposizione per l'esposizione di quel che volevo dirvi. Si tratta cioè di sistemi mediati dall'RNA, in questo caso la trasmissione è possibile da cellula a cellula e da generazione a generazione. Questo è qualcosa di enormemente importante, presente in tutti gli animali. Onnipresente, possiamo dire. Adesso forse riusciamo a capire meglio qual è il meccanismo della ereditarietà dei diversi fenotipi, prima abbiamo accennato ai tessuti. Questo è un esempio molto famoso: facciamo riferimento ad un vegetale, in questo caso -ne abbiamo due immagini- geneticamente sono identici, epigeneticamente sono diversi e il fattore differenziante è la

mutilazione. Vedete che c'è un meccanismo di ereditarietà da una generazione alla successiva. Da un lato vedete il wild type, che comunque va a trasmettere ereditariamente alla generazione successiva, e dall'altro abbiamo l'epimutante e anch'esso va a trasmettere. Ricordate che vi avevo detto di tenere a mente l'immagine dei topi, quelli gialli da un lato e quelli marroncini dall'altro, abbiamo già detto che geneticamente sono identici, epigeneticamente sono diversi; ma noi sappiamo ormai qual è il gene di tutto ciò, qual è la regione deputata a questa differenziazione. Abbiamo detto per l'appunto che è la mutilazione che va a determinare questa differenziazione. Abbiamo visto che questi topi sono geneticamente identici, ma abbiamo visto anche che l'9ro prole va differenziandosi, e cioè i topi gialli danno origine a più topi gialli, i topi marroncini danno origine a meno topi gialli e più tipo agouti. Dunque questa metilazione che è il fattore differenziante è importante per lo sviluppo ma è anche importante per la ereditarietà. Una cosa importante da notare è questa. Se al topo giallo somministrassimo una dieta a base di acido folico, questo andrebbe a influenzare lo stato di questo topo, e questo andrebbe ad avvicinarsi di più al tipo pseudo-agouti, e così per la prole, e quindi questo dunque ha un effetto anche sulla ereditarietà e dunque questa dieta a base di acido folico andrebbe anche ad influire sul fenotipo, ma anche sul pattern, e quindi sul modello di ereditarietà. Questo per quanto riguarda l'ereditarietà epigenetica. Abbiamo visto alcuni esempi, ma i casi sono molto numerosi, perlomeno faccio riferimento ai casi da me analizzati e contati, perlomeno siamo oltre il centinaio.

Ecco vedete appunto questo è un esempio di comportamento materno e vediamo come questo comportamento possa avere degli effetti poi ereditati e non per il tramite del sesso si tratta proprio di una ricostruzione a livello proprio dello sviluppo. Qui vedete la mamma accovacciata sopra i piccolini e li lecca vigorosamente, è stato dimostrato che se la madre lecca in modo vigoroso i propri piccoli per sei giorni essi diventeranno dei toponi coraggiosi, mentre se li lecca poco tenderanno ad essere dei piccoli topolini codardi e più stressati. Questo si trasmette da una generazione all'altra nel senso che abbiamo parlato di questi toponi coraggiosi e di questi topolini stressati e sottomessi rimangono tali fino all'età adulta e anche oltre. Quando questi piccoli diverranno adulti e avranno a loro volta della prole, se erano stati leccati in modo vigoroso dalla madre, tenderanno a leccare altrettanto i piccolini e a curarsi molto di essi e gli altri che sono stati leccati poco faranno lo stesso trattamento nei confronti dei loro piccoli. Quindi di volta in volta, viene praticamente ricostruito questo comportamento materno, con una sorta di spartizione, da un lato i topi coraggiosi, dall'altro quelli stressati.

Noi conosciamo bene i meccanismi fisiologici e anche i meccanismi ormonali e sappiamo anche quali geni a livello celebrale contribuiscono a questo comportamento, la mamma che lecca o meno i piccoli. Il cerchio che vediamo in blu è il fattore differenziante e ancora una volta è la metilazione.

Abbiamo già detto dell'allattamento al seno e della sua importanza, perché ad esempio ed è stato osservato negli esseri umani e nei topi e altre specie, influisce su quelle che sono le preferenze alimentari del bambino, quando la mamma allatta il bambino gli trasferisce le preferenze alimentari e cibi che gli piaceranno in seguito e anche in questo caso viene ricostruito come questo tipo comportamento viene trasmesso. Questo naturalmente non è limitato solo agli esseri umani ci sono altri esempi, per esempio nel regno animale, la trasmissione del canto nel caso degli uccelli, piuttosto che dei suoni nel caso delle balene e degli altri cetacei. Questo dà origine proprio a diversi dialetti nelle popolazioni di volatili come avviene nelle popolazioni di esseri umani subiscono un'alterazione del canto quando questa va ad esprimersi nella creazione di diversi dialetti di questi volatili. Un altro esempio famoso è quello dei macachi giapponesi, che hanno imparato a lavare le patate. Qui c'è un corvo caledoniano della Nuova Zelanda, che ha acquisito la possibilità di costruire degli utensili, prendono degli stecchini che sono ricurvi ad una estremità e li utilizzano a modi uncino per andare ad inserirli in una cavità ad esempio di un albero ed estrarre qualcosa come vermi, insetti ecc, è da notare come diverse popolazioni di questi corvi abbiano sviluppato metodi diversi per utilizzare questi utensili. Qui c'è l'esempio degli scimpanzé in questo caso si tratta di tradizioni culturali e quindi vengono trasmesse da una generazione all'altra non mediante i geni, bensì mediante apprendimento sociale. Qui c'è un altro esempio di trasmissione per il tramite del mezzo sociale, ad esempio le canzoni per bambini. Qui c'è la cultura simbolica, questo è un altro esempio del nostro paesaggio dei simboli.

Abbiamo visto fino adesso come è possibile la ereditarietà dei caratteri di trasmissione delle informazioni da una generazione all'altra, ma cosa significa al fine degli studi evolutivisti. Sono molte le implicazioni di questa ereditarietà epigenetica che va ad influire sulla evoluzione, come ad esempio a livello dell'asse epigenetico e può avere a sua volta delle influenze a livello genetico, ma ci possono essere altri esempi di come possono avere degli effetti anche a livello della selezione. Ci sono anche dei risvolti molto pratici dal punto di vista medico e possono avere importanza soprattutto per quanto riguarda la diagnosi, per esempio ci sono delle differenze epigenetiche in gemelli che sono geneticamente identici e qui il epigenetico determina lo stato di buona salute dell'uno e il cattivo stato dell'altro, sappiamo poi che tali fattori vanno ad accumularsi con il crescere dell'età; sappiamo anche dell'importanza di tali fattori nello sviluppo di alcuni tipi di cancro, per esempio nel cancro al colon. Ci sono naturalmente anche dei fattori indotti dall'ambiente, per esempio ci sono delle sostanze inquinanti che vengono ingerite-sottolineo che per ora non ci sono prove di questa evidenza a livello di esseri umani ma solo a livello animale. Tra l'altro alcuni mesi fa è stato pubblicato uno studio che ha dimostrato che alcuni tipi di cancro sono ereditari. Nel caso del cancro al colon non si è trattato di una mutazione genetica bensì di una

mutazione epigenetica. Ecco naturalmente ci sono anche delle implicazioni a livello teorico generale e cioè che hanno a che fare con lo studio della teoria sull'evoluzione, con i suoi aspetti filosofici. Bisogna infatti pensare alla continuità tra lo sviluppo e l'evoluzione. Non si può pensare che l'ereditarietà sia un fattore a sé stante. Sì certo, a volte può essere vista utilmente come un aspetto dello sviluppo. Quindi è necessario considerare entrambi i fattori: sviluppo ed ereditarietà. Quindi se noi accettiamo questo postulato dobbiamo andare a rivedere e a ridefinire alcune definizioni dell'ereditarietà da un lato e l'evoluzione dall'altro. Dob Jones aveva definito appunto l'ereditarietà come un cambiamento della costituzione genetica delle popolazioni ma questo postulato non è più sufficiente di per sé. Dobbiamo quindi creare una nuova terminologia che non sia vincolata unicamente all'aspetto genetico dell'ereditarietà. Per esempio, noi suggeriamo di definire l'ereditarietà come la ricostruzione evolutiva, processi di ricostruzione evolutiva che vanno a correlare le analogie tra gli antenati e i discendenti. E suggeriamo altresì di definire l'evoluzione come quell'insieme di processi che conducono a cambiamenti nella natura e nella frequenza dei tipi ereditabili in una popolazione. Quando parliamo di tipi non parliamo esclusivamente di genotipi ma di epigenotipi e di tipi comportamentali. Questo è quello che abbiamo voluto dimostrare. Naturalmente abbiamo voluto non dimostrare mostrare. Fondamentalmente abbiamo voluto sottolineare l'esistenza delle diverse dimensioni delle interazioni tra le stesse, parliamo sia dell'ereditarietà che della evoluzione. Abbiamo proprio voluto sottolineare l'importanza dell'esistenza di queste diverse dimensioni, diversi assi lungo i quali vengono trasmesse le informazioni. Naturalmente quando parliamo di animali, organismi, creature si viene a creare un unicum all'interno del quale tutti i vari fattori interagiscono. Questa è la nostra immagine conclusione.