SECONDA PARTE

Il nuovo paradigma

Se l'idea del mondo/macchina non tiene più, proveremo con l'idea del mondo/vita, cioè del **mondo inteso come sistema vivente**. James Lovelock, negli anni '70 formulò l'ipotesi di *Gaia:* la Terra intera, intesa come sistema vivente. L'ipotesi è stata fortemente contestata dalla comunità scientifica ed è tuttora controversa, ma, per quanto attiene a questo scritto, non è così importante considerarla vera o falsa, quanto utilizzarla come metafora: se proviamo a paragonare le società animali, le comunità umane con i sistemi viventi, ne possiamo trarre indicazioni utili sul funzionamento dei processi e, quindi, sulla possibilità di orientarli? Questa è la domanda cui dobbiamo dare risposta.

Ovviamente il primo passo è quello di capire come funzionano i sistemi viventi (e non è proprio semplicissimo!).

Va detto subito che nell'ultimo secolo, in questa direzione si sono fatti passi avanti clamorosi, in diverse discipline che per molti anni avevano progredito, ma solo in modo specializzato, senza che ci fosse un tentativo di connettere le acquisizioni specialistiche, che restavano confinate nelle proprie discipline. Solo negli ultimi anni si sta cominciando a "mettere insieme i pezzi del puzzle" per costruire un quadro coerente.

Seguiremo questo percorso:

- i sistemi – cosa sono e come funzionano
- i sistemi viventi – cosa sono e come funzionano
- i sistemi sociali – cosa sono e come funzionano, con un approfondimento sulle comunità
- le analogie fra sistemi viventi e sistemi sociali

prima di passare alla terza parte, in cui ci occuperemo dei cambiamenti, fisiologici, evolutivi, traumatici, nei sistemi viventi/sociali e su come influenzarne l'andamento.

Cos'è un sistema?

Per capire come funzionano i sistemi viventi occorre partire dall'idea stessa di sistema.

Un paio di definizioni:

Sistema: un insieme di elementi che istituiscono tra loro relazioni funzionali, tali che il comportamento di ciascun elemento risulta contraddistinto dal legame in cui è coinvolto, mentre il sistema che ne deriva acquisisce caratteristiche che non appartengono ad alcuno degli elementi che lo costituiscono.

Emergenze: Le caratteristiche che appartengono al sistema e non ai suoi elementi costitutivi si chiamano emergenze.

Confine: un sistema è distinto dal suo ambiente, c'è una delimitazione, un confine identificabile che sancisce ciò che è dentro il sistema e ciò che è fuori, cioè **l'ambiente** del sistema.

Il concetto è abbastanza semplice, ma è un modo nuovo e diverso per guardare alle cose del mondo e (come vedremo) della vita.

La teoria dei sistemi

Naturalmente, non stiamo parlando di una novità assoluta del pensiero umano: l'idea che l'insieme può essere maggiore della somma delle parti è già presente in Aristotele e molti altri pensatori successivi, ma l'impostazione di una vera e propria teoria generale dei sistemi è formulata solo nel ventesimo secolo.

Vale la pena di citare tre tentativi di costruire un quadro paradigmatico in ottica sistemica. Curiosamente, l'esito e l'accoglienza di almeno due dei tre fu fortemente condizionato dall'incrocio delle storie personali dei promotori con le vicende politiche e i conflitti del cosiddetto "secolo breve".

Il primo, a inizio secolo, è proposto da Alexander Bogdanov, medico, filosofo, scrittore e politico russo, dirigente rivoluzionario di primo piano. Fondatore, con Lenin e Krasin, del partito bolscevico, fu più volte incarcerato, da giovane, dalla polizia zarista. Prima amico, poi rivale di Lenin, espulso dal partito, incarcerato nuovamente dagli ex-compagni, liberato, si dedicò alla medicina sperimentale, diventando una figura di riferimento per gli studi sulle trasfusioni. Resta comunque figura eminente della rivoluzione sovietica.

Elabora una teoria generale che chiama *Tectologia* in cui si propone di unificare tutte le scienze sociali, biologiche e fisiche, considerate tutte come sistemi di relazioni, da investigare alla ricerca dei principi organizzativi fondamentali di ogni sistema. Pubblica l'opera *Tectologia* (Scienza generale dell'organizzazione o scienza delle strutture) in tre volumi, fra il 1912 e il 1917, poco prima della rivoluzione di ottobre.

In occidente, l'opera di Bogdanov resta sconosciuta per decenni, malgrado una traduzione in tedesco del 1928, anno in cui Bogdanov muore, in seguito ad una trasfusione di sangue sperimentale terminata in tragedia.

Le contese politiche e militari sicuramente non hanno aiutato la diffusione e lo scambio di idee. Oggi, alcune delle sue intuizioni sono state riscoperte ed entrano nella discussione sullo sviluppo del pensiero sistemico.

Allo stesso modo, la "Teoria generale dei sistemi" elaborata da Ludwig von Bertalanffy[1], un biologo austriaco, trasferito dopo la guerra in Nord America, pubblicata nel 1968, risentì dell'eredità dei conflitti.

La teoria non venne accolta con grande entusiasmo nel mondo scientifico, per diversi motivi: innanzitutto non si trattava di una vera e propria teoria, ma di un insieme di articoli e saggi, principi e spunti teorici che non andavano a costituire un quadro interpretativo preciso. In secondo luogo sia il carattere dello scienziato, poco comunicativo, sia il suo recente passato di adesione al nazismo (era iscritto al partito e in diversi articoli aveva sostenuto, sia pure con una certa moderazione, l'ideologia nazista) lo rendevano inviso a gran parte dei colleghi. Il suo tentativo di costruire una teoria generale dei sistemi resta comunque un riferimento storico importante, sempre citato negli studi successivi.

L'ultimo protagonista di un tentativo di connettere in un quadro coerente un paradigma interpretativo alternativo (in parte) a quello meccanicistico è la Cibernetica, termine proposto da Norbert Wiener, americano di famiglia ebrea, *enfant prodige*, laureato in matematica a 14 anni, studiò filosofia e contribuì allo sviluppo della teoria dell'informazione e, in seguito, della cibernetica, pubblicando nel 1948 *La cibernetica: Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina*. La cibernetica restò per diversi decenni un quadro di riferimento per l'interpretazione e la formalizzazione matematica del funzionamento delle macchine e degli esseri viventi, con ampio interesse anche per le tematiche dell'intelligenza artificiale.

Il periodo di conflitti, aperti o freddi, le storie personali e politiche dei proponenti, le difficoltà insite nei modelli proposti, la mancanza di acquisizioni scientifiche, conseguite anni dopo, che avrebbero potuto

[1] Ludwig von Bertalanffy, Vienna 1901 – New York 1972. Biologo, psicologo, epistemologo. Autore di "Teoria generale dei sistemi – fondamenti, sviluppo, applicazioni" , Penguin, London 1968.

aiutare l'elaborazione di un quadro più completo … molti sono i motivi per cui questi tentativi nel secolo scorso non si sono imposti nella comunità scientifica e i percorsi di ricerca si sono sostanzialmente inariditi.

Thomas Kuhn e le rivoluzioni scientifiche

In fondo, però, il più serio motivo, come spiega in maniera eccellente Thomas Kuhn[2], nel fondamentale testo "La struttura delle rivoluzioni scientifiche", del 1952, è il fatto che **i nuovi paradigmi non nascono, finché i vecchi funzionano**. Tutte le attività di ricerca, di approfondimento, di scoperte di nuovi dettagli ecc. sono orientate dal paradigma riconosciuto dalla comunità scientifica, fino a che una serie di dati inconfutabili contraddicono inequivocabilmente l'interpretazione corrente. Solo a questo punto le cose cambiano, nascono dei periodi confusi, in cui nuove (o meno nuove) ipotesi vengono formulate, discusse, sperimentate, confutate … fin quando emerge una nuova spiegazione accettata dalla comunità scientifica.

Va sottolineato che, come vedremo, i cambiamenti drastici (le "catastrofi") che sopravvengono nei sistemi viventi seguono esattamente questo andamento.

Possiamo quindi ipotizzare che il paradigma meccanicista e determinista non fosse veramente in crisi, in tutto il XX secolo, malgrado la meccanica quantistica e la teoria generale della relatività: si pensava ancora che queste riguardassero il mondo invisibile delle particelle subatomiche o le galassie lontane, non il mondo reale della nostra vita quotidiana.

Oggi siamo, forse, finalmente, nella fase della crisi del paradigma dominante, per quanto attiene alle cose della vita, e la teoria sistemica viene riproposta, come modalità per interpretare la realtà da numerosi scienziati, con un background accademico e sociale più solido e più dignitoso e, soprattutto, con un approccio multidisciplinare, e il contributo di numerosi pensatori.

Qualche esempio di sistema

il più semplice, benché microscopico e invisibile è **la molecola dell'acqua**, H2O: due atomi di idrogeno e uno di ossigeno, tenuti insieme da un legame. Le caratteristiche della molecola d'acqua (per esempio, la polarità) sono "emergenze", in quanto ben diverse dalle caratteristiche degli atomi di idrogeno e di ossigeno. Il confine è ben delimitato, anche se non visibile direttamente dall'uomo (neppure al microscopio elettronico). Alcune tecniche però ci permettono di conoscere la sua struttura e di rappresentarla graficamente.

Un altro esempio, più familiare, **la bicicletta**: tanti componenti di metallo, plastica, gomma …; pedali, ruote, manubrio, sellino, catena, ingranaggi, pneumatici …. Dall'unione funzionale nasce la possibilità di movimento, caratteristica emergente. La delimitazione del confine è ben visibile.

Ma entriamo nel campo degli esseri viventi, ecco un **albero**: componenti le radici, il tronco, i rami, le foglie. È l'unione funzionale che rende l'albero vivo: la vita è la qualità emergente. La struttura lo rende ben identificabile e separato dal suo ambiente.

Ultimo esempio, noi stessi: **uomini e donne**: composti da organi complessi, tessuti, fluidi, ossa, muscoli, cervello, … tutti questi a loro volta composti da cellule: una complessità inimmaginabile che, a svariati livelli, riproduce lo schema sistemico delle relazioni fra componenti che creano caratteristiche emergenti.

---

[2] Thomas Kuhn, Cincinnati 1922 – Cambridge (USA) 1996. Fisico, storico, filosofo, epistemologo. Autore di "La rivoluzione copernicana", Harvard University Presse, 1957 e "La struttura delle rivoluzioni scientifiche", Chicago University Press, 1952

I sistemi viventi

Riprendiamo la descrizione. Abbiamo capito cos'è un sistema, in generale. Vediamo ora quali sono **le caratteristiche dei sistemi viventi.**

I sistemi viventi sono **sistemi complessi**. I loro elementi, infatti, sono a loro volta sistemi (come dicevamo, l'uomo è composto da organi, a loro volta composti da cellule, a loro volta composte da molecole….[3]).

I sistemi viventi operano **lontani dallo stato di equilibrio** (la massima entropia, ricordate?). La loro **stabilità è dinamica**: non deriva da uno stato di quiete, ma da un continuo riequilibrio, garantito da cicli di retroazione (feedback). (un corpo umano accaldato suda e il sudore disperde il calore; i cani, allo stesso scopo, ansimano, con la lingua fuori, per disperdere più in fretta il calore in eccesso).

I sistemi viventi sono, pertanto, **sistemi aperti**: hanno bisogno di scambiare elementi ed energia con l'ambiente. Questo consente loro di mantenere e riprodurre l'ordine senza contraddire il secondo principio della termodinamica che afferma che in un sistema chiuso l'entropia (e quindi il disordine) non può che crescere.

I sistemi viventi sono **creativi**. Quando un ciclo di feedback non riesce a ripristinare la stabilità si raggiunge un punto di **biforcazione**. È un punto in cui il sistema può subire un cambiamento significativo nella sua struttura e/o nel suo comportamento (che Renè Thom definisce "catastrofe"). Una volta che il sistema supera il punto critico, può emergere un nuovo equilibrio, spesso attraverso un processo non lineare. (ecco il pattern già descritto da Thomas Kuhn per le rivoluzioni scientifiche!). Il nuovo stato può rappresentare una nuova configurazione stabile (in un nuovo equilibrio dinamico) del sistema. Questa **emergenza** si riferisce a un cambiamento qualitativo che non può essere previsto solo osservando le dinamiche precedenti.

I sistemi viventi sono **autopoietici.** Questo termine è stato inventato da Humberto Maturana e Francisco Varela negli anni '60 e ha dato il titolo al loro libro più conosciuto "Autopoiesi e cognizione". Indica quei sistemi in grado di **autorigenerarsi continuamente**. Hanno cioè al loro interno le istruzioni per ricostruire continuamente gli elementi che li compongono e le relazioni fra di essi, cioè l'organizzazione e la struttura. Un topo, una rana, un uomo, non hanno bisogno di istruzioni esterne per diventare, da un uovo fecondato, uomini, rane, topi e vivere come tali, e riprodursi. Sanno perfettamente cosa gli occorre prendere dall'ambiente, come usarlo per svilupparsi, crescere, ripararsi quando necessario, riprodursi, mantenersi vivi ed integri finché possibile, cosa scartare e come disperdere gli scarti nell'ambiente. Sono perciò sistemi che non hanno bisogno di alcun input informativo esterno per vivere e per riprodursi. **Questa è la principale caratteristica che divide il vivente dal non vivente (**e l'intelligenza del vivente dall'intelligenza artificiale).

I sistemi viventi sono **cognitivi, cioè intelligenti**. La continua interazione cognitiva con l'ambiente guida l'evoluzione del sistema. L'ambiente modifica il sistema e il sistema modifica l'ambiente, che, in questo modo si "codeterminano" reciprocamente. Citando Humberto Maturana "*La cognizione non è una funzione del vivente, la cognizione è la vita stessa*".

Chi è dentro è dentro, chi è fuori è fuori

"La Luna esiste anche quando non la guardo?"
"C'è qualcosa, là fuori?"
La fisica quantistica e la filosofia mettono dubbi profondissimi!

---

[3] Può essere interessante tentare di rendersi conto dei numeri implicati: in una singola cellula ci sono circa cinquantamila miliardi di molecole, e in un corpo umano ci sono circa trentamila miliardi di cellule, continuamente riproducentesi: nel nostro corpo, ogni giorno circa sessanta miliardi di cellule muoiono e vengono rimpiazzate. Alcune hanno una vita media di 4 giorni, come quelle dell'intestino, altre di 4 mesi, come i globuli rossi. Alcune non vengono rimpiazzate, come la maggior parte dei neuroni (ahimè!)

Io però preferisco pensare che qualcosa, là fuori, esista, che il mondo non sia una pura invenzione della mia mente. Quindi in questo scritto parto da questo assunto. Assunto da mitigare, però con quanto affermava Werner Heisenberg nel 1958: "**ciò che possiamo osservare non è la natura, ma quella parte di natura che i nostri metodi di indagine possono rilevare**".

Cioè quella parte di natura che posso percepire direttamente, tramite gli organi di senso, o indirettamente, attraverso strumentazioni adatte[4].

"Ci son più cose in cielo e in terra, Orazio, di quante ne sogni la tua filosofia" (Amleto, Shakespeare).

Il mondo e la natura sono sicuramente abitati da elementi che non possiamo conoscere.

La relazione fra sistema è ambiente è un punto cruciale dell'approccio sistemico. Tutto ciò che è fuori dal confine (dalla membrana cellulare, dal corpo umano) **e con cui sono in grado di interagire, è l'ambiente**.

È un punto non facile da capire profondamente. Per quanto riguarda gli uomini, il sistema è il corpo, il confine è la pelle, con le sue "aperture" di contatto con l'ambiente (occhi, orecchie, naso, bocca, sfinteri, pori, …); l'ambiente è l'aria, l'acqua se stiamo nuotando, le cose che possiamo vedere, che possiamo toccare, i suoni che sentiamo, gli odori, il gusto; e fra gli elementi che costituiscono l'ambiente ci sono le altre persone, le macchine, il cane di casa, … la vita è cognizione e la cognizione passa dalla percezione.

I sistemi sociali

Abbiamo visto cos'è un sistema e come funziona. Cos'è un sistema vivente e come funziona. Ma cos'è un sistema sociale? Come possiamo definire "sociale"?

Nella bella definizione di Ota de Leonardis "….è sociale ciò che produce socialità e cioè genera e rigenera legami sociali, comunicazione, cooperazione e conflitto[5]"

Quando parliamo di sistemi sociali, non stiamo necessariamente parlando di un contesto umano: un formicaio, uno sciame di api, uno stormo di uccelli in volo, le acciughe che fanno il pallone, sono tutti sistemi sociali, più o meno permanenti o temporanei. La principale caratteristica, infatti, di questi sistemi, è la duplice appartenenza di ciascun individuo che partecipa al sistema: è un singolo individuo, ma è anche una parte di un sistema che ha caratteristiche "emergenti" che non appartengono ai singoli componenti.

Quello che cambia drasticamente, naturalmente, è il grado di autonomia del singolo individuo: nel caso delle api e delle formiche i ruoli sono morfologicamente definiti (operaie, regine, ecc.), ma l'individuo ha un certo grado di autonomia, che diventa più ampio nel caso degli uccelli in volo, o nel caso delle "vedette" (che si assumono il rischio maggiore nei confronti di predatori), nei branchi di stambecchi o di marmotte; nel caso dell'uomo, il grado di autonomia è ancora più ampio: si tocca qui il tema del libero arbitrio (che lasciamo volentieri ai filosofi), ma, di fatto, quando qualcuno è "disposto a morire per la causa" (qualunque sia la causa) si dimostra che è possibile anche nei sistemi umani ritenere l'autopoiesi del sistema più importante di quella dell'individuo!

L'uomo è un animale sociale: tende ad aggregarsi in sistemi sociali di diverso tipo, conformazione, stabilità, durata. Possiamo quindi parlare di sistemi sociali, quando diversi individui si uniscono in un insieme che assume caratteristiche particolari, che non appartengono ai singoli individui, ma che si sviluppano ad un grado di complessità superiore e le cui caratteristiche dipendono dalle relazioni fra i soggetti che costituiscono il sistema.

[4] Attenzione che gli strumenti che uso fanno parte dell'ambiente e vi accedo sempre tramite i miei organi di senso, qualunque sia il supporto che mi restituisce i risultati dell'indagine: schermo, documento stampato, o altro.
[5] Ota de Leonardis "In un diverso welfare" 1998

Perciò, nei sistemi sociali umani i componenti sono le persone e le relazioni fra di loro e le emergenze sono le caratteristiche del sistema, la sua capacità di *agency*: il pensiero collettivo, la capacità di assumere decisioni, di adattarsi, di innovare, di influenzare l'ambiente.

Oggi, noi siamo abituati a partecipare a diversi sistemi sociali contemporaneamente e in modo non esclusivo. Non è sempre stato così.

Un tempo, nei piccoli villaggi, nei comuni medievali, il sistema relazionale e la comunità locale sostanzialmente coincidevano: erano sistemi geografici di appartenenza, cui una persona era vincolato: la famiglia allargata, la casata, la confraternita, il villaggio, il comune, … da un lato molto invasivi: ti dicevano chi sposare, chi pregare, chi servire, il mestiere che dovevi fare, … dall'altro estremamente protettivi. Non a caso una delle peggiori condanne per crimini contro la comunità stessa era l'ostracismo, la messa al bando, l'esilio ("come sa di sale lo pane altrui", nelle parole di Dante Alighieri, bandito da Firenze).

Oggi nel nostro mondo occidentale le possibilità di spostamento, le concentrazioni nelle città, i percorsi di formazione, le carriere lavorative ricche di cambiamenti rendono possibile e naturale per tutti noi appartenenze a molteplici comunità "leggere" (anche senza addentrarci nel tema delle comunità virtuali). Leggere nel senso che il grado di appartenenza e i vincoli non sono oppressivi, ma anche il grado di protezione è piuttosto debole[6].

Quasi tutti noi abbiamo alcuni sistemi sociali "standard": la famiglia (solitamente almeno due, una di origine e una, o più, acquisite), i colleghi di lavoro (o i compagni di scuola, in giovane età), gruppi di amici, più o meno stabili e più o meno importanti (penso, ad esempio, alle tifoserie del calcio che spesso hanno un peso specifico determinante). Tutti noi (e tutti questi sistemi) apparteniamo, a un livello superiore, volenti o nolenti, al sistema culturale / civiltà occidentale, molti alla Chiesa Cattolica.

Comunità

Finora abbiamo usato i termini "sistema sociale" e "comunità" come sinonimi, come del resto spesso si incontrano in letteratura.

Ma a questo punto è importante fare una distinzione, seguendo la proposta di definizione di comunità di Luisi e Capra in "Vita e Natura":

Una comunità è un tipo particolare di sistema sociale, in cui l'ininterrotto flusso di interrelazioni fra i componenti ha permesso il costituirsi di una cultura condivisa, che orienta i processi nel sistema[7].

Una comunità è quindi frutto di un processo di costruzione di senso che avviene in un sistema sociale in cui le relazioni fra i componenti sono tanto continue e vivaci da riuscire a far emergere una cultura comune.

L'insieme di significati condivisi dai membri della comunità, lo definiamo "cultura".

Una cultura, infatti, è un insieme di conoscenze, tradizioni, norme, usanze, convinzioni, saperi, riti, credenze, che, in quanto condivise in una comunità, aiutano a dare senso all'esperienza individuale e alle relazioni fra le persone appartenenti alla comunità stessa[8].

---

[6] Per approfondire questo tema, consiglio "Voglia di comunità" di Zygmunt Bauman (vedi bibliografia)

[7] Questa definizione è tratta da "Vita e Natura" di F. Capra e P. Luisi. Vale la pena di notare che Elinor Oestrom, premio Nobel per l'economia nel 2009, nella prefazione all'edizione italiana di "Governing the commons", del 2006, sottolineava che dalle evidenze portate da tutti i numerosi esperimenti fatti fra il 1990, dopo l'uscita e il successo planetario del libro, e l'edizione italiana del 2006, agli 8 principi progettuali presenti nel volume originale, ne andavano aggiunti altri 4, centrati sull'importanza della comunicazione fra gli utilizzatori dei beni, che risultava un elemento determinante la riuscita o meno dell'esperimento.

[8] Questa definizione, invece, è una mia "composizione" di diverse definizioni incontrate in numerosi testi. È una proposta, naturalmente più che discutibile. Vediamo se può esserci utile.

La metafora proposta: i sistemi sociali come sistemi viventi

Per quanto detto fino ad ora, appare del tutto naturale che la visione proposta, come modello di riferimento per la comprensione dei sistemi sociali è **la visione sistemica della vita: reti dentro reti, che si autocostruiscono continuamente, in accoppiamento strutturale con l'ambiente che le circonda**.

Guardare ai sistemi sociali, alle comunità con questo sguardo, permette di vederli come contesti vitali che producono relazioni, che producono cultura, che scambiano con l'ambiente esterno, che si rigenerano continuamente. Realtà relazionali ricchissime, in costante mutamento.

La cellula eucariota come modello

Ma quale modello possiamo scegliere, per approfondire le analogie? La mia proposta è di prendere l'elemento più semplice della vita: la sua base elementare, la cellula. E più precisamente, una cellula eucariota (cioè dotata di nucleo) del corpo umano, o di un animale o di un albero:

- È un sistema: è infatti composta di molecole complesse (acidi nucleici, come DNA e RNA, proteine, enzimi, lipidi …).
- È un'entità individuale, ben distinguibile, le cui caratteristiche nascono come emergenze dalle relazioni fra i componenti: il metabolismo, la capacità di riprodursi.
- È anche un componente di un sistema di livello superiore: di un organo, di un tessuto, del sangue …., comunque fa parte dei miliardi di cellule che compongono un organismo complesso.

In realtà, la cellula base del corpo umano non è esattamente semplice: contiene approssimativamente sessantamila miliardi di molecole, da quelle semplici, come l'acqua, a quelle complicatissime come DNA e RNA, passando da lipidi, zuccheri, proteine, enzimi …

Vediamo come ne parla Lynn Margulis in "Microcosmo":
"*Se si osserva al microscopio una cellula eucariotica viva, si rimarrà sorpresi dai movimenti vigorosi che hanno luogo nel suo interno. In netto contrasto con la cellula batterica, il cui contenuto è immobile o va passivamente alla deriva, l'interno della cellula eucariotica appare brulicante come una metropoli. II citoplasma forma correnti e, in alcune cellule, mitocondri, ribosomi e altri organelli seguono percorsi predeterminati come se obbedissero alla segnaletica di un traffico a due corsie. Molte cellule si dilatano e si contraggono.*
Per la maggior parte, il moto cellulare si svolge nell'ambito di un elaborato sistema di trasporto endocellulare, costituito da microtubuli, minuscoli tubicini di natura proteica del diametro di soli 24 nanometri e capaci di produrre movimento di concerto con altre proteine."

Più oltre, riprende il tema della metropoli, come sistema sociale, per rimarcare l'analogia:
"*Gli organismi veri sono come le grandi città: Los Angeles o Parigi, le quali possono essere identificate dai loro nomi, dai loro limiti e da uno stile generale di vita dei loro abitanti. Ma un'osservazione più precisa rivela che la città stessa è composta di immigrati da tutte le parti del globo, di sobborghi, di criminali, di filantropi, di gatti randagi e di piccioni."*

Per il nostro scopo, però, quello che più ci interessa è individuare le caratteristiche e le modalità di funzionamento di questi sistemi viventi. Pur mantenendo la consapevolezza della loro complessità e del tempo che il processo evolutivo ha impiegato per raggiungere questo modello meraviglioso che in pochi micron assembla un universo, possiamo cercare degli elementi ricorrenti nel funzionamento che ci possono aiutare a categorizzare processi, attività, funzioni …

Sintesi del modello

Quindi, se il modello di riferimento è la cellula eucariota, vale la pena di riassumerne in estrema sintesi gli elementi cruciali:

- una **membrana** semimpermeabile, più o meno sferica, identifica
- il **confine**, che permette di distinguere e nominare il soggetto, la cellula.
- All'interno della membrana avviene **la vita: reazioni chimiche, metabolismo, riproduzione**;
- al di fuori c'è **l'ambiente**, da cui la cellula trae i nutrienti e gli elementi strutturali, per crescere, ripararsi, modificarsi, riprodursi, innovare, e in cui diffonde prodotti e scarti,
- in una continua creazione (**autopoiesi**) guidata dall'interno, con **istruzioni** che permettono di mantenere **l'organizzazione**, anche cambiando gli elementi della **struttura,**
- e in una continua interazione (**codeterminazione**) fra cellula e ambiente.

La cellula modifica l'ambiente e l'ambiente modifica la cellula.

Cruciale è il confine, là dove si decide cosa entra e cosa esce.

Cruciali sono i meccanismi che governano le reazioni, le sintesi, che permettono di mantenere l'organizzazione, anche se cambiano gli elementi della struttura.

Questi meccanismi dipendono dalle istruzioni contenute nei geni, nel DNA, ma, secondo le più recenti ipotesi, anche da tutti i processi, le interazioni che continuamente avvengono nella cellula fra gli elementi che ne abitano l'interno.

Vediamo come una rivista scientifica divulgativa riassume le acquisizioni degli ultimi decenni in questo campo[9]:

"*Tradizionalmente la biologia molecolare associa a ogni gene una funzione. Dalla mappatura del genoma di centinaia di organismi, in particolare dell'uomo, ci si aspettava una visione globale della cellula e dell'organismo, che avrebbe dovuto portare a un avanzamento enorme nelle nostre conoscenze. Invece questo paradigma ha registrato un notevole scacco, per esempio nella ricerca contro il cancro, dove insistere sui geni singoli porta solo alla scoperta di nuovi geni coinvolti nella malattia. Questo perché i geni "interagiscono", cioè sono in grado di influenzare l'espressione e la funzione di altri geni, che a loro volta ne influenzano altri, e così via. Come in Internet, o in un circuito elettrico, i geni sono "nodi" o "elementi" che comunicano e si influenzano l'un l'altro dando luogo a comportamenti collettivi.* ***Il fallimento del paradigma "un gene – una funzione" indica che le interazioni sono importanti quanto i geni stessi****. In Biologia dei sistemi è fondamentale questo concetto di network o rete di interazione genetica.*"

[9] La rivista è Xlatangente (n° 6 del 2008). Trovo l'esposizione molto chiara e sostanzialmente in linea con le scoperte più recenti (vedi, per approfondire, "Il canto della cellula" di Siddhartha Mukherjee, del 2022). Inoltre, uno degli autori dell'articolo, Bruno Bassetti, recentemente scomparso, ricercatore all'Università di fisica, era mio compagno di classe all'Istituto tecnico "Ettore Molinari" di Milano e mi fa particolarmente piacere poter citare un suo articolo.