

## VITA ARTIFICIALE

**Domenico Parisi\***

La Vita Artificiale è una nuova metodologia di ricerca e una nuova visione dei fenomeni del mondo vivente che intende arrivare a una migliore comprensione di tali fenomeni attraverso la loro riproduzione in sistemi artificiali, cioè in simulazioni al computer o in sistemi fisici (robot), e guardando a tutti tali fenomeni in modo unificato. L'idea di base è che se si è in grado di costruire sistemi artificiali che si comportano come i sistemi reali, allora i principi seguiti nel costruire i sistemi artificiali sono probabilmente gli stessi che governano i sistemi reali, e che guardando ai fenomeni del mondo vivente in modo unificato, si può giungere a una comprensione nuova e più profonda di tali fenomeni.

La Vita Artificiale ha come oggetto tutti i fenomeni del mondo vivente, dalle cellule con la loro struttura molecolare agli organismi multicellulari con il loro comportamento, fino alle società e alle strutture sociali composte da molti individui. La Vita Artificiale non solo studia entità molto diverse che esistono su scale molto diverse, come molecole, cellule, organi e sistemi all'interno del corpo, interi organismi, strutture e organizzazioni sociali, ma studia una varietà di fenomeni che si osservano un po' in tutte queste entità: riproduzione, sviluppo, comportamento, comunicazione, apprendimento, evoluzione. Per questa ragione la Vita Artificiale rappresenta una forte spinta interdisciplinare in quanto usa una stessa metodologia di ricerca, quella della simulazione, a fenomeni diversi studiati da discipline diverse, e riconduce fenomeni di un dato livello a fenomeni di un altro livello utilizzando strumenti teorici - i sistemi complessi, i sistemi evolutivi e i sistemi a rete - che sono applicabili a fenomeni e livelli diversi.

La Vita Artificiale agisce a tre livelli: il livello delle cellule e della loro struttura molecolare, il livello degli organismi, il livello delle collettività di organismi e delle strutture sociali.

Per quanto riguarda il primo livello, quello delle cellule e della loro struttura molecolare, qui non diremo molto, limitandoci a menzionare ricerche come quelle che simulano i processi che sono all'origine della

---

\* Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione, Consiglio Nazionale delle Ricerche

vita, quelle che cercano di creare cellule artificiali, e quelle che cercano di riprodurre le complesse interazioni molecolari all'interno di una cellula e i complessi sistemi di segnalazione tra le cellule.

Per quanto riguarda il secondo livello, quello del comportamento degli organismi, la Vita Artificiale rappresenta una novità rispetto agli approcci tradizionali in quanto utilizza per spiegare il comportamento degli organismi gli stessi concetti che le scienze naturali usano per studiare la natura. Tradizionalmente il comportamento degli organismi e la loro vita psichica vengono studiati usando concetti diversi da quelli usati dalle scienze della natura, concetti che non fanno riferimento a entità fisiche, osservabili direttamente o con l'aiuto di strumenti, ma a entità "mentali" quali rappresentazioni, credenze, conoscenze, scopi, intenzioni. La Vita Artificiale elimina queste entità mentali dal suo vocabolario esplicativo e modellistico. Il comportamento degli organismi viene spiegato utilizzando le reti neurali, che sono modelli semplificati del sistema nervoso. Una rete neurale è fatta di unità, che corrispondono ai neuroni, collegate tra loro da connessioni, che corrispondono ai collegamenti sinaptici tra neuroni. Una unità ha livelli di attivazione che variano nel tempo e che corrispondono al "ritmo di sparo" (firing rate) di impulsi nervosi da parte dei neuroni. Le unità di input di una rete neurale, che simulano i recettori sensoriali, hanno livelli di attivazione che sono l'effetto di eventi e stati dell'ambiente esterno all'organismo, mentre le unità di output, che simulano i neuroni motori, e le unità interne che ricevono connessioni dalle unità di input e inviano connessioni alle unità di output, hanno livelli di attivazione che dipendono dalle eccitazioni e inibizioni che arrivano dalle altre unità con cui sono collegate. Le eccitazioni e le inibizioni sono modulate dai pesi quantitativi delle connessioni, che corrispondono al numero e all'entità dei siti sinaptici tra neuroni. Quando questi pesi quantitativi cambiano con l'esperienza, il comportamento dell'individuo cambia, e in questo consiste l'apprendimento.

La novità delle reti neurali è che il comportamento e la vita psichica vengono spiegati facendo riferimento unicamente a processi in cui cause fisiche producono effetti fisici e in cui ogni cosa ha natura intrinsecamente quantitativa. La vita psichica non va confusa con il mentalismo come apparato esplicativo. La vita psichica degli organismi è un fenomeno empirico come tutti gli altri. Gli esseri umani, oltre ai comportamenti osservabili, hanno anche immagini mentali, ricordi, pensieri, fanno previsioni e progetti. Questa vita psichica va spiegata come ogni altro tipo di fenomeno. Una questione diversa è che tipo di apparato esplicativo bisogna usare per spiegare sia il comportamento che la vita psichica. Tradizionalmente si è ritenuto che per spiegare il

comportamento e la vita psichica fosse necessario un apparato di concetti mentalistico diverso dall'apparato di concetti fisicalistico usato dalle scienze della natura. La novità della Vita Artificiale è che questa posizione tradizionale viene abbandonata. Ogni dualismo esplicativo tra "mente" e "corpo" viene abolito e si crea una completa continuità tra scienze della natura e scienze dell'uomo.

Ma la Vita Artificiale è anche consapevole che il comportamento non può essere spiegato soltanto chiamando in causa il sistema nervoso e quindi usando soltanto le reti neurali. Altrettanto importanti per spiegare il comportamento sono il resto del corpo dell'organismo, l'ambiente fisico in cui vive e con cui interagisce ogni organismo, il patrimonio genetico che ogni individuo eredita dai suoi genitori e che è il frutto di una lunga storia evolutiva nel passato della specie. Per questo le simulazioni della Vita Artificiale non si limitano a usare le reti neurali, come fa il connessionismo "classico", ma simulano anche il corpo dell'organismo, l'ambiente fisico in cui l'organismo vive e il DNA ereditato dall'organismo, e non si limitano a simulare il singolo individuo ma simulano sempre una popolazione di individui diversi l'uno dall'altro che evolve in un succedersi di generazioni. Il comportamento dell'organismo è il frutto delle interazioni a due vie tra organismo e ambiente, con l'ambiente che invia stimoli all'organismo e l'organismo che modifica l'ambiente o quanto meno le relazioni fisiche del proprio corpo con l'ambiente e quindi influenza gli stessi stimoli che gli giungono dall'ambiente. Il corpo è simulato non solo nelle sue componenti esterne e morfologiche (dimensioni, forma, collocazione fisica e caratteristiche degli organi sensoriali e motori) ma anche nei suoi organi e sistemi interni che esistono al di là del sistema nervoso. Il comportamento nelle sue componenti più cognitive è il frutto soprattutto delle interazioni del sistema nervoso con l'ambiente esterno, ma nelle sue componenti motivazionali e emotive è frutto delle interazioni del sistema nervoso con gli altri organi e sistemi interni del corpo, mentre quella che chiamiamo la vita psichica è il frutto delle interazioni del sistema nervoso con se stesso, attraverso l'auto-generazione dei propri stessi input da parte del sistema nervoso. Infine la simulazione del DNA ereditato che determina le caratteristiche generali del corpo e del comportamento dell'organismo serve alla Vita Artificiale per studiare le influenze genetiche sul comportamento, la storia evolutiva della specie, le interazioni tra diversi processi di sviluppo come l'evoluzione al livello della specie e l'apprendimento al livello dell'individuo.

Per quanto riguarda infine il terzo livello, quello delle collettività di individui e delle strutture sociali, la Vita Artificiale studia come originano, come funzionano e come si modificano nel tempo le organizzazioni e le

istituzioni sociali umane, cioè i fenomeni di cui si occupano le scienze sociali: l'antropologia, la sociologia, l'economia, le scienze politiche e giuridiche, la storia. Queste discipline oggi sono in una fase di profondo rinnovamento guidato da due principi, quello di cercare nuovi modelli teorici e nuovi metodi di ricerca che siano meno "letterari" e più formali e quantitativi di quelli usati tradizionalmente, e quello di trascendere i confini disciplinari, non solo tra le diverse scienze sociali ma anche tra le scienze sociali e le scienze della natura, mettendo in relazione fenomeni che nella realtà sono chiaramente in relazione e si influenzano tra loro ma che nelle discipline scientifiche tradizionali sono separati.

La Vita Artificiale propone alle scienze sociali innanzitutto un nuovo metodo, quella della simulazione, che ha molti dei vantaggi degli esperimenti di laboratorio, ad esempio il controllo e la manipolazione delle variabili, ma non ha quelli che per le scienze sociali sono degli svantaggi, dato che non si possono fare esperimenti di laboratorio su fenomeni troppo grandi e che durano troppo a lungo nel tempo, o su fenomeni che sono ormai passati e non ci sono più, come sono spesso i fenomeni studiati dalle scienze sociali. Invece si può simulare qualsiasi cosa. Un altro vantaggio delle simulazioni rispetto agli esperimenti di laboratorio è che mentre negli esperimenti di laboratorio il comportamento dei "soggetti" sperimentali non è spontaneo ma è sotto il rigido controllo dello sperimentatore - il che rende gli esperimenti di laboratorio poco appropriati per studiare il comportamento umano dato che il comportamento umano ha forti caratteristiche di autonomia -, nelle simulazioni si possono simulare individui che si comportano in modo libero e autonomo e che imparano spontaneamente a comportarsi in questo modo. Infine il metodo delle simulazioni può essere cruciale per superare le divisioni disciplinari tra le scienze sociali dato che esso costituisce un metodo unico applicabile ai fenomeni più diversi, tradizionalmente studiati da discipline diverse con metodi diversi, e quindi una "lingua franca" che può facilitare la comunicazione tra ricercatori appartenenti a discipline diverse.

In secondo luogo la Vita Artificiale propone alle scienze sociali l'adozione di nuovi modelli teorici che, oltre ad essere ben definiti, formali e quantitativi, hanno il vantaggio di poter essere applicati a fenomeni molto diversi, studiati sia dalle diverse scienze sociali che dalle scienze della natura. A questi modelli abbiamo già accennato. Si tratta dei modelli dei sistemi complessi, dei modelli evolutivi e dei modelli a rete.

I sistemi complessi sono insiemi di elementi che interagiscono localmente tra di loro in maniera tale che dalle loro interazioni emergono proprietà complessive dell'intero sistema che non sono prevedibili e non

sono deducibili anche conoscendo alla perfezione le proprietà dei singoli elementi e le leggi che governano le loro interazioni. I sistemi complessi hanno anche altre caratteristiche che vale la pena di ricordare. Sono molto sensibili alle condizioni iniziali, per cui condizioni iniziali anche leggermente diverse conducano a sviluppi anche molto divergenti. Sono molto sensibili a perturbazioni esterne, che pur essendo piccole possono provocare grandi effetti all'interno di un sistema, ovvero, pur essendo grandi, possono essere riassorbite dal sistema senza molte conseguenze. Sono spesso organizzati in modo gerarchico, con molti elementi a un livello che con le loro interazioni costituiscono un sistema che funziona come un singolo elemento al livello successivo.

I sistemi complessi sono alla base della simulazioni sociali ad agente, dove un agente rappresenta un individuo o una struttura sociale ed è dotato di un sistema di controllo (nel caso di un individuo, il suo sistema nervoso) che determina come l'agente risponde agli input generando degli output. Una simulazione sociale prevede un certo numero di agenti che interagiscono tra loro e da queste interazioni emergono fenomeni, strutture e istituzioni sociali. L'adozione delle simulazioni ad agenti permette di superare il contrasto, tradizionale nelle scienze sociali, tra punto di vista individuale e punto di vista collettivo. In una simulazione ad agenti da un lato sono gli agenti che con il loro comportamento determinano le strutture e i fenomeni sociali ma, dall'altro, le strutture e i fenomeni sociali sono emergenti, il che significa che hanno proprietà diverse dalle proprietà degli agenti e che non possono essere previste o dedotte dalle proprietà degli agenti, mentre possono influenzare le proprietà degli agenti.

Ponendosi nella prospettiva dei sistemi complessi, secondo la quale le proprietà dei fenomeni ad un certo livello vengono ricondotte ma non ridotte alle proprietà dei fenomeni al livello immediatamente più basso, la Vita Artificiale si inserisce in una tendenza generale a "scendere di livello" che caratterizzerà sempre di più la ricerca scientifica e tecnologica nel XXI secolo, dalle nanotecnologie alle biotecnologie, dall'analisi del comportamento in termini neurali all'analisi dei fenomeni sociali in termini di individui.

Il secondo tipo di modelli di applicazione generale usati dalla Vita Artificiale sono i modelli evolutivi. Un modello evolutivo assume l'esistenza di un certo numero di varianti che si riproducono in modo selettivo, con alcune varianti che generano più copie di se stesse rispetto ad altre varianti, e con l'aggiunta costante di nuove varianti. Questi due fattori, la riproduzione selettiva e l'aggiunta di nuove varianti, danno luogo a evoluzione, cioè cambiamento nel corso di un succedersi di generazioni di varianti. I modelli evolutivi sono

chiaramente di ispirazione biologica. Le varianti sono gli organismi individuali, la riproduzione è la riproduzione in senso biologico, la selettività della riproduzione dipende dal grado di adattamento di ciascun individuo all'ambiente, che fa sì che gli individui più adatti si riproducano di più di quelli meno adatti, e l'aggiunta di nuove varianti è dovuta alle mutazioni genetiche, alla ricombinazione sessuale di parti del DNA di un genitore con parti del DNA dell'altro genitore, e al caso. Tuttavia i modelli evolutivi possono avere applicazioni anche in altri campi, in particolare possono essere applicati allo studio della trasmissione e dell'evoluzioni culturale e tecnologica, diventando così di interesse per le scienze sociali. Nella trasmissione culturale, la riproduzione significa che un individuo (l' "allievo") impara da un altro individuo (il "maestro"), la selettività è legata al fatto che non tutti i "maestri" hanno lo stesso numero di "allievi", e l'aggiunta di nuove varianti è dovuta al fatto che spesso gli "allievi" introducono varianti in quello che hanno appreso dai loro "maestri" o nuove varianti vengono importate da altre collettività e da altre culture. Nella trasmissione tecnologica, gli artefatti tecnologici si riproducono in quanto vengono venduti, usati, copiati, la riproduzione è selettiva in quanto non tutti gli artefatti tecnologici sono ugualmente venduti, usati e copiati, e l'aggiunta di nuove varianti è dovuta all'invenzione di nuovi artefatti tecnologici.

Infine il terzo tipo di modelli di applicazione molto varia che vengono usati nell'ambito della Vita Artificiale sono i modelli a rete. Un modello a rete è un insieme di nodi collegati tra loro che possono influenzarsi in un modo che dipende dalla rete dei collegamenti. La ricerca sui modelli a rete ha dimostrato l'importanza del numero di nodi, della quantità complessiva dei collegamenti, e della particolare topologia dei collegamenti (reti casuali, reti "scale free", reti "small world"). I modelli a rete possono essere usati per studiare una varietà di fenomeni sociali, culturali e tecnologici, dalle interazioni e comunicazioni all'interno di un collettività di agenti alle influenze culturali che possono arrivare fino alla globalizzazione (uniformazione) culturale, dalle reti di aziende e di lavoratori alla tecnologia dei sistemi di comunicazione come Internet.

Concludiamo questa breve introduzione alla Vita Artificiale accennando a un problema di carattere generale che si pone quando i modelli e le metodologie della Vita Artificiale sono applicati ai comportamenti umani e alle strutture sociali umane, un problema di cui ancora non appare chiara la soluzione. La Vita Artificiale, e in particolare i modelli dei sistemi complessi, i modelli evolutivi e i modelli a rete, tendono a indurre una visione dei fenomeni per cui i comportamenti e le strutture sociali emergono spontaneamente, sono frutto di auto-

organizzazione, e dipendono da un coordinamento implicito e per così dire “orizzontale” tra le diverse componenti di un sistema. Ma il comportamento umano e le strutture sociali umane presentano aspetti che sembrano in contrasto con questa visione dei fenomeni. Vediamo tre esempi.

Si considerino le varianti che vengono costantemente aggiunte ai processi evolutivi e che svolgono un ruolo così importante in tali processi. I modelli evolutivi, ispirati all’evoluzione biologica, tendono a concepire l’aggiunta di varianti ai processi evolutivi come dovuta al caso, come succede per le mutazioni genetiche o per la ricombinazione di parti del DNA di un genitore e del DNA dell’altro genitore. Ma, quando i modelli evolutivi vengono applicati all’evoluzione culturale e all’evoluzione tecnologica, è necessario tener conto che, almeno in parte, in questi casi l’aggiunta di varianti è anche dovuta a una ricerca che non è casuale ma è esplicita e direzionata. E’ come se il processo selettivo, invece di operare a posteriori su varianti generate a caso, come avviene nell’evoluzione biologica, operasse a priori all’interno del processo stesso di generazione delle varianti. Allo stato attuale, i modelli evolutivi riescono a cogliere bene i processi selettivi che operano a posteriori ma meno bene quelli che operano a priori.

Il secondo esempio riguarda il coordinamento tra più agenti. Un gruppo di agenti che si coordinano tra di loro possono raggiungere risultati che sono al di là della portata del singolo agente. Ma il coordinamento tra gli agenti può essere spontaneo e, come si è detto, “orizzontale”, oppure può essere diretto dall’alto e “verticale”, cioè opera di una organizzazione sociale che prevede due ruoli, quello di chi dirige e quello di chi è diretto. Se il coordinamento è “orizzontale”, ci possono essere anche specializzazioni dei singoli agenti ma tutti gli agenti hanno lo stesso ruolo autonomo, per cui ogni agente tiene conto di quello che fanno gli altri ma non si fa dire dagli altri che cosa deve fare. Se il coordinamento è “verticale”, invece, alcuni agenti, i “capi”, dicono agli altri quello che debbono fare, e il funzionamento del gruppo dipende in misura importante da quali individui sono i “capi” e da come i “capi” vengono scelti. Anche in questo caso, i modelli della Vita Artificiale, in particolare quelli ispirati ai sistemi complessi, allo stato attuale sembrano più appropriati per studiare il coordinamento “orizzontale” e spontaneo che non quello “verticale” e diretto dall’alto.

Il terzo esempio ha a che fare con il concetto di regola. La parola “regola” ha molte ambiguità. Una regola può essere semplicemente una regolarità e eventualmente la descrizione verbale di tale regolarità, e in questo senso esistono regole in tutta la realtà, sia in quella naturale che in quella umana, oppure può essere la descrizione verbale di un modo di

comportarsi al quale ci si attiene in quanto si sono riscontrati dei vantaggi del comportarsi in tale modo. In questo secondo senso, è necessario ancora distinguere tra diversi livelli di consapevolezza e di esplicitezza nella formulazione delle regole e tra il caso in cui la regola sia auto-imposta e quello in cui sia imposta da altri attraverso la minaccia o la effettiva somministrazione di punizioni per comportamenti che violano la regola. Ancora una volta la Vita Artificiale appare oggi più attrezzata per cogliere regole implicite che in realtà sono regolarità che a spiegare e a riprodurre comportamenti che seguono regole esplicite, specialmente se imposte dagli altri.

E' evidente che tutti i fenomeni di cui stiamo parlando sono strettamente connessi con alcune caratteristiche degli esseri umani, che tendono a distinguerli dagli altri animali. Tra queste caratteristiche vi sono una più grande estensione temporale della loro cognizione, con maggiori capacità di ricordo del passato e maggiori capacità di previsione del futuro, il possesso di un sistema di comunicazione, il linguaggio, con proprietà diverse e più potenti rispetto ai sistemi di comunicazione animale, e in particolare con la possibilità di essere usato per comunicare con se stessi (pensare, ricordare, prevedere linguisticamente) e non solo per comunicare con gli altri, e infine l'adozione da parte degli esseri umani di strategie di procuramento, produzione e circolazione dei beni che sono fortemente sociali e che richiedono che gli esseri umani vivano costantemente in "compagnia di estranei". Se l'approccio della Vita Artificiale dovrà essere applicato con successo ai comportamenti umani e alle strutture sociali umane, queste caratteristiche tipicamente umane non potranno essere ignorate.