

Presentazione

Nel loro interessante e utile libro Alberto F. De Toni e Erika Bernardi ci guidano a esplorare un pianeta dove, accanto agli agenti ben noti – persone, animali, piante, microorganismi, virus... – ne esistono di nuovi, artificiali, fatti per vivere nei computer, come forma particolare di programmi. Si tratta di modelli, cioè di rappresentazioni (semplificate) della realtà, con caratteristiche cui solo negli ultimi anni la ricerca, in particolare nel campo delle scienze sociali, sta attribuendo adeguata attenzione.

Nelle scienze sociali, ma non solo, abbiamo tradizionalmente costruito i modelli in due modi: (i) tramite argomentazioni verbali o (ii) con le equazioni, utilizzando la statistica e l'econometria quali complementi (esistono anche i modelli fisici, in scala, ma sono preclusi, salvo eccezioni che furono anche pionieristiche, alle scienze sociali). La strada (i) è pienamente flessibile e adattabile, come ad esempio nel caso di un libro di storia che descrive e analizza gli eventi di un periodo, ma quelle descrizioni e analisi, per loro natura, non consentono test quantitativi e verifiche di ipotesi. All'opposto, la via (ii) consente calcoli e verificazioni, ma patisce severe limitazioni in termini di flessibilità e adattabilità, specialmente con riferimento alla definizione delle modalità di comportamento degli agenti se ci cerca di considerare questi ultimi in modo eterogeneo e alla luce delle relative interazioni.

Esiste un terzo modo per costruire i modelli, (iii) la simulazione nel computer, in particolare se basata sugli agenti. La simulazione via computer combina l'estrema flessibilità del codice informatico – dove possiamo creare agenti che operano, scelgono, reagiscono a scelte di altri agenti e a cambiamenti del contesto in cui operano – con l'intrinseca computabilità di quel codice. Ciò consente di utilizzare congiuntamente le capacità descrittive delle argomentazioni verbali (i) e la capacità di calcolo, stima e test dei modelli di equazioni (ii). In questa prospettiva un programma di simulazione per computer è una forma di matematica. Possiamo anche, con questi modelli, generare serie temporali di dati su base artificiale e analizzarle con i metodi standard della statistica e dell'econo-

metria, anche paragonandole – cosa interessantissima – con serie empiriche di dati reali.

La realtà è intrinsecamente basata su agenti, non su equazioni, il che, in prima approssimazione consente una obiezione piuttosto forte: perché riprodurre le strutture sociali con un modello basato su agenti, con (iii), quando la scienza usa (ii) per descrivere, spiegare e prevedere la realtà che, per sé, è troppo complicata per essere direttamente compresa? (per una breve, ma illuminante discussione, vedere la recensione scritta dal premio Nobel per la fisica nel 1979 Weinberg al libro di Wolfram, *A New Kind of Science*; la recensione è comparsa nel 2000, con il titolo *Is the Universe a Computer?* nella «The New York Review of Books», vol. 49, n. 16, ed è in linea all'indirizzo www.nybooks.com/articles/15762).

La prima risposta è che, con un modello ad agenti e con la simulazione, noi possiamo produrre artefatti di sistemi reali e «giocare» con essi, ad esempio per mostrare le conseguenze di ipotesi che conosciamo perfettamente e di forme di comportamento e interazione degli agenti che progettiamo per l'esperimento. Dopo di che applichiamo statistica ed econometria ai dati che otteniamo e confrontiamo i risultati con quelli che si ottengono applicando gli stessi test ai dati empirici disponibili a proposito della realtà riprodotta con la simulazione. In questa prospettiva, i modelli di simulazione operano come una specie di lente di ingrandimento che possiamo usare per meglio comprendere la realtà.

Le considerazioni sulla possibilità di ben controllare i risultati sulla base delle ipotesi dell'esperimento, a noi perfettamente conosciute, agiscono in una direzione simile a quella del ragionamento abduttivo (terza strada rispetto a deduzione e induzione), detto anche inferenza della migliore spiegazione: si tratta dell'operazione che spesso compiamo quando scegliamo le ipotesi che, se avverate, forniscono la migliore spiegazione di una determinata realtà-situazione-risultato. Annotiamo che, nel caso della simulazione ad agenti, le ipotesi sono anche relative alle regole che determinano il comportamento degli agenti.

Una seconda risposta è che, dal famoso *More Is Different*, pubblicato su «Science» nel 1972 dal premio Nobel (per la fisica, nel 1977) Anderson (www.jstor.org/pss/1734697) sappiamo che quando gli agenti o le parti di un tutto agiscono e interagiscono, se la loro quantità è rilevante, molto probabilmente si manifesta la complessità. Quindi per affrontare la complessità, dove simultaneamente dobbiamo studiare le parti e il tutto, dobbiamo far affidamento sui modelli di simulazione ad agenti: come esempio evidente si pensi alle formiche e al formicaio, con due livelli da studiare simultaneamente, per capire la dinamica (emergente) del formicaio sulla base del (semplice) modo di comportarsi delle formiche.

Naturalmente la simulazione ad agenti ha anche significativi punti di debolezza, principalmente dovuti a tre elementi.

- a) La difficoltà nel comprenderne appieno il funzionamento di quei modelli senza dover studiare con cura il programma usato per costruirli.
- b) La necessità di controllare meticolosamente il codice informatico, per evitare le conseguenze di errori difficili da cogliere nei risultati: se un programma di contabilità produce un risultato strano si va alla ricerca dell'errore, invece se un programma di simulazione produce un risultato inatteso, legittimamente si ritiene di aver trovato un risultato interessante. Però quel risultato può essere dovuto a un errore di codificazione, probabilmente molto sottile nel contenuto e nelle conseguenze.
- c) La difficoltà nell'esplorare sistematicamente l'intero insieme delle possibili ipotesi allo scopo di individuare la miglior spiegazione del quadro reale, in coerenza con quanto introdotto a proposito del ragionamento abduktivo. Ciò è principalmente dovuto alla presenza delle regole di comportamento degli agenti all'interno delle ipotesi, che generano uno spazio delle ipotesi di dimensioni spesso intrattabili.

Il problema della comunicazione del modello e dei risultati, descritto in (a), può essere almeno in parte superato con l'utilizzazione di strumenti standard per la simulazione ad agenti e di protocolli condivisi per applicarli. Il primo esempio importante di protocollo (e di strumento) fu quello di Swarm (www.swarm.org), presentato a metà degli anni Novanta dal Santa Fe Institute, e poi sviluppatosi indipendentemente da quella istituzione. Non si tratta di un programma in senso tradizionale, ma di una biblioteca di funzioni specializzate per la simulazione, da utilizzare programmando (in Objective C oppure in Java). Lo scopo iniziale del gruppo di sviluppo di Swarm era quello di produrre una *lingua franca* per la simulazione ad agenti. Quello scopo è stato raggiunto solo parzialmente, anche perché con i linguaggi moderni, qual è ad esempio Python, una buona parte delle funzioni della biblioteca di Swarm non è più necessaria.

Al contrario il protocollo originariamente diffuso con Swarm è implicitamente o esplicitamente presente in moltissimi strumenti di simulazione ad agenti ora in uso. Per una applicazione di quel protocollo utilizzando Python si può esaminare SLAPP, Swarm-Like Agent Protocol in Python, che è possibile reperire nella mia pagina web <http://web.econ.unito.it/terna>.

Con riferimento al secondo punto di debolezza, sub (b), cioè il rischio di errori nel codice della simulazione, tali da inficiare i risultati, la risposta sta sia nell'impiego di strumenti standard come quelli detti (ma è una risposta solo parzialmente soddisfacente), sia nella doppia scrittura del codice da parte di due studiosi diversi, con strumenti diversi. Se i risultati sono molto simili, con le inevitabili differenze dovute quanto meno alle diverse sequenze di numeri casuali nel determinare gli eventi, ma con eguali fenomeni emergenti, possiamo essere ragionevolmente rassicurati che nel nostro codice non ci siano errori. Si

tratta di un lavoro piuttosto pesante, che è suggerito per applicazioni realmente importanti.

La terza debolezza, indicata con (c), e cioè la difficoltà nell'esplorazione dell'insieme di tutte le possibili ipotesi, comprese le regole che determinano il comportamento degli agenti, tra cui anche la possibilità di comportamento pienamente razionale e perfettamente informato (si tratta solo di una delle possibili ipotesi), deriva come detto dalla dimensione dello spazio da esplorare, aprendo ogni possibile «scatola nera» per trasformarla in un insieme di ipotesi esplorabili. Lo spazio delle possibilità, quando è analizzato con il necessario dettaglio, corrisponde normalmente a un insieme ingestibile di possibilità. Per superare questa difficoltà si può ricorrere a generatori di molteplicità di possibili comportamenti, come le reti neurali che auto-apprendono, i sistemi a classificatore, gli algoritmi genetici o l'apprendimento con rinforzo.

Infine, con riferimento alla presentazione dei risultati, alla interazione tra agenti artificiali e reali, occorre anche ben valutare sia le possibilità offerte da strumenti di simulazione molto recenti che producono visualizzazioni molto simili a videogiochi, sia l'impiego a questi fini di mondi virtuali, come Second Life o altri.

Concludiamo citando il fondamentale libro di Lave e March (*An Introduction to Models in the Social Sciences*, Harper & Row, New York 1975) dove a pagina 10 si legge che: «The best way to learn about model building is to do it». Lo stesso si applica, a maggior ragione, ai modelli di simulazione e questo libro ci guida proprio in quella direzione.

Pietro Terna

terna@econ.unito.it
web.econ.unito.it/terna

PROLOGO

La vita come emersione dal basso

La storia della terra, la storia della vita, la storia degli uomini, la nostra storia è emersione dal basso, storia di entità elementari che costruiscono nel tempo sistemi adattativi complessi, sistemi che apprendono ed evolvono nel tempo.

Ma come si è arrivati agli anfibi, ai dinosauri, a noi? E, quanto tempo ci è voluto? Simulando tutta la storia della vita sulla terra – riconducendola a un solo ipotetico giorno – possiamo analizzare in modo più efficace la dimensione del tempo nei meccanismi dell'evoluzione.

La storia della terra parte da 4 miliardi e 600 milioni di anni fa; se essa durasse un solo giorno, ogni ora corrisponderebbe a circa 200 milioni di anni e l'uomo farebbe la sua comparsa solo due secondi prima della mezzanotte, per trasformare il pianeta. Nel corso di miliardi di anni la terra si è tramutata da una sfera rovente e senza vita in mondo vivente poi dominato dall'uomo. Ma com'è successo? Quali sono le forze che hanno trasformato il pianeta?

Il primo passo verso la vita fu l'effetto serra, creato dall'anidride carbonica nell'atmosfera primitiva. L'effetto serra riscaldò il ghiaccio trasformandolo in acqua, nelle prime ore del nostro ipotetico giorno, e nell'acqua nacque la vita. Forse tutto avvenne in pozze costiere, veri laboratori della vita, continuamente sommerse dalle maree; in questo mondo dinamico si formarono delle grosse molecole destinate a essere spezzate dai raggi ultravioletti emessi dal sole e in parte anche dai fulmini. Intanto, lontano dalla luce, le rocce roventi rilasciavano molte sostanze chimiche nei mari e nell'atmosfera.

Nel corso di milioni di anni il gioco di incastri tra atomi e molecole, dettato dalla chimica e dal caso, portò alla formazione di catene complesse come il DNA. La vita ebbe inizio con i batteri, semplici filamenti di DNA all'interno delle pareti di una cellula. Successivamente il DNA acquisì anche la capacità di separarsi e di duplicarsi come una cerniera lampo formando nuovi individui, nuovi batteri.

Sono passate già sei ore di questo ipotetico giorno. Poco prima dell'alba compaiono delle cellule capaci di sfruttare la luce solare grazie alla clorofilla e

alla fotosintesi. Il meccanismo della fotosintesi ha come risultato quello di produrre molto ossigeno, che era quasi assente nell'atmosfera primordiale, mentre le alghe preistoriche generarono un vero e proprio inquinamento dell'aria. Il risultato fu la creazione dell'atmosfera che conosciamo, con il preziosissimo strato di ozono che protegge tutte le forme viventi dai pericolosi raggi ultravioletti.

Quello che colpisce di più nell'evoluzione della vita è che le prime cellule nacquero quasi subito, mentre ci volle moltissimo tempo per arrivare a qualcosa di più complesso come i primi esseri pluricellulari. Per superare questo scoglio evolutivo la vita impiegò miliardi di anni, dall'alba infatti si dovette aspettare il tramonto e oltre. Solo all'ora di cena si poterono vedere finalmente le prime cellule dividersi per dare origine a organismi complessi dotati di tessuti e organi e da quel momento si assistette a una vera e propria esplosione di specie. Le trasparenti creature del mare si manifestarono in un'enorme varietà di forme, dimensioni e stili di vita. Alle ventuno e venti, praticamente dopo cena, emerse un nuovo tipo di organismo, il trilobita, dotato di una corazza forte, leggera e flessibile sostenuta da zampe efficienti e snodate.

Erano le ventuno e cinquanta quando le piante cominciarono timidamente a colonizzare le terre emerse beneficiando di una luce solare più forte e dell'aumento di anidride carbonica. Ben presto seguirono i primi animali: è poco noto ma i primi furono degli invertebrati come millepiedi, ragni e scorpioni. Insetti e artropodi furono colonizzatori ideali: il loro scheletro leggero si adattava perfettamente all'acqua, alla terra e all'aria. Una regola ecologica controllava l'espansione di insetti e artropodi: le piante in effetti potevano nutrire solo un numero limitato di erbivori; rispetto ad essi i carnivori erano meno numerosi. Queste piccole savane preistoriche brulicanti di vita dominarono le scene per decine di milioni di anni.

Alle ventidue di questo ipotetico giorno sulle spiagge preistoriche si potevano scorgere i primi vertebrati terrestri trascinarsi faticosamente: erano dei pesci molto particolari. Le pinne erano più robuste, perché dotate di ossa forti antenate di quelle che abbiamo nelle braccia e nelle gambe. Malgrado questi adattamenti alla vita sulla terra ferma dovevano ritornare in acqua per riprodursi proprio come le rane; non è un caso che diedero origine agli anfibi.

Alla ventidue e trenta così si presentava il nostro pianeta: c'erano immense foreste umide popolate da anfibi primitivi e libellule grandi come falchi, alberi immensi davano l'impressione di trovarsi in una sconfinata cattedrale gotica. Ogni volta che un albero cadeva veniva sepolto dalla palude formando con il tempo imponenti strati di carbone che oggi usiamo per accendere fuochi.

Col passare dei millenni i continenti si spostarono. Alle ventitré di questo ipotetico giorno gli anfibi si trasformarono dando origine ai rettili, che si diffusero su tutto il pianeta: cominciò l'era dei dinosauri e mancava solo un'ora alla mezzanotte. Per duecento milioni di anni la nostra terra fu popolata da giganti mai visti prima, ogni secondo comparivano nuove specie di predatori bipedi, fe-

roci e velocissimi, oppure erbivori lunghi decine di metri. Mezz'ora prima della mezzanotte, in piena era dei dinosauri, sbocciarono i primi fiori e l'aria si riempì dei loro profumi. Alle ventitré e quaranta la terra era ancora dominata dai dinosauri: nidificavano in vaste colonie, comunicavano usando richiami complessi e si prendevano cura dei loro piccoli appena nati, proprio come fanno gli uccelli.

Ma all'improvviso si estinsero lasciando ai mammiferi un pianeta vuoto tutto da conquistare; mancavano solo venti minuti alla mezzanotte. I mammiferi inizialmente simili a topolini colonizzarono tutti i continenti e gli oceani adattandosi e trasformandosi profondamente. In quei pochi minuti conquistarono le savane dando origine a sterminate mandrie di antilopi e a orde di elefanti, colonizzarono i mari trasformandosi in cetacei dalle dimensioni gigantesche e conquistarono l'aria con immensi stormi di pipistrelli.

Appena due minuti prima della mezzanotte alcuni piccoli primati che si erano adattati alla vita sugli alberi scesero nelle savane per camminare bipedi: erano i primi ominidi i nostri più antichi antenati. *L'Homo sapiens*, cioè l'uomo moderno, nasce ad appena due secondi dalla mezzanotte: è in questo brevissimo lasso di tempo che è concentrata tutta la nostra storia.

Tutta questa straordinaria evoluzione si è protratta per miliardi di anni durante i quali, dinamicamente, gli organismi elementari si sono combinati e trasformati dando origine a migliaia di specie diverse aventi tutte gli stessi progenitori: i batteri.

La vita, gli organismi complessi che ci circondano, sono il risultato di una sorprendente emersione dal basso, realizzata a partire dai batteri che possiamo considerare i primi agenti del nostro pianeta. La nostra terra è a tutti gli effetti *il pianeta degli agenti*.