

ALCUNE OSSERVAZIONI SULLA COMPLESSITÀ

Lucio Russo

Pochi concetti sono apparsi negli ultimi venti anni così pervasivi come quello di “complessità”. Si è discusso se la “complessità” fornisca il nuovo “paradigma” scientifico (nel senso kuhniano del termine o magari in qualche senso nuovo e più complesso), ma in ogni caso il suo dilagare negli ambiti più diversi è apparso una marcia inarrestabile, offrendo un raro esempio di interdisciplinarietà totale. Mentre tra venti e quindici anni fa il termine si è diffuso dagli ambienti scientifici in cui era nato a molti settori umanistici, da alcuni anni esso è divenuto obbligatorio nei discorsi di politici, sociologi, e pedagogisti. Nei dibattiti sulla riforma della scuola ai quali mi è capitato di partecipare, ad esempio, pochi intervenuti (e probabilmente nessun ispettore ministeriale) hanno dimenticato di ammonire l'uditorio sulla necessità di “raccolgere la sfida della complessità”. Ricordo un insegnante di storia di Terracina che intervenne in un pubblico dibattito sostenendo che in una società globalizzata come l'attuale non si possono più proporre a scuola argomenti di interesse regionale, come la storia greca o il Rinascimento italiano, ma bisogna limitarsi a insegnare la “complessità della storia”.

Lo studioso di Storia antica del Vicino Oriente Mario Liverani, a proposito del problema della nascita dello stato, ha scritto recentemente:

«Il concetto-chiave della ricerca contemporanea è quello della "complessità". In termini semplificati al massimo, si ha una situazione complessa quando all'interno di un sistema interagiscono elementi tra loro differenti, per caratteri e per rilevanza, elementi che non si comportano tutti nello stesso modo, e la cui interazione dà luogo a squilibri gerarchici e a differenti tassi di successo. [...]

Ma l'uso della nozione di complessità si è talmente diffuso negli ultimi vent'anni, da vanificare quest'uso propriamente storico. Sia detto senza ironia: nessuno studioso accetta il compito di studiare un fenomeno semplice, lasciando agli altri il ben più avvincente studio del fenomeno complesso. Ecco così entrare in scena i "chiefdoms complessi", quali più immediati prodromi dello stato. [...]

In questo modo [...] l'origine dello stato viene di fatto studiata su una campionatura di casi [studiati sul campo da antropologi] dei quali positivamente sappiamo che non hanno dato origine allo stato! È questo il paradosso [...] di dare per scontato che i "chiefdoms" [complessi] pre-statali debbano contenere in sé almeno in abbozzo i caratteri delle formazioni propriamente statali».¹

Le affermazioni di Liverani possono avere un effetto liberatorio su quanti, trovandosi a disagio per la propria ignoranza sull'argomento, hanno tentato inutilmente di farsi spiegare da qualche appassionato neofita di "complessità" in cosa consista il nuovo grimaldello interpretativo, ottenendone quasi sempre risposte generiche e banali. La sterminata bibliografia sull'argomento non è di grande aiuto, in quanto i libri in cui la parola appare nel titolo trattano in genere molti argomenti diversi e non è possibile trovarvi la chiara esposizione di neppure un risultato della "teoria della complessità".²

¹ M. Liverani, *Uruk la prima città*, Laterza, Roma-Bari 1998. Ho posposto l'ultimo brano, tentando così di fornire un'approssimazione dell'argomentazione completa, che nell'originale si sviluppa su più pagine.

² Tra i migliori libri apparsi in italiano: G. Bocchi, M. Ceruti (a cura di), *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano 1985; G. Nicolis, I. Prigogine, *La complessità*, Einaudi, Torino 1991; AA. VV., *La matematica della complessità*, Le Scienze quaderni, settembre 1992.

In questa situazione la tentazione di concludere rapidamente che quella della "complessità" sia solo una moda superficiale, che nasconde il vuoto intellettuale, è forte, soprattutto da parte di chi ha sentito parlare di "complessità" da politici o mediologi, ma va respinta.

In realtà la "complessità" appare un contenitore di aspetti in evidente e violento contrasto: sotto la stessa etichetta sono racchiuse le banalità sulla "complessità della storia", con cui qualcuno vorrebbe sostituire la storia nei programmi scolastici, ma anche importanti risultati scientifici nel pieno senso della parola, come quelli ottenuti nel campo della complessità computazionale, della teoria dei vetri di *spin*, della dinamica dei sistemi caotici o delle reti neurali. Il programma ambiziosissimo di descrivere e progettare sistemi "complessi" in quanto strutturati, autoregolanti e capaci di espandere la propria struttura sembra convivere con la diffusione dell'idea rinunciataria che il mondo, essendo "complesso", non è comprensibile. Anche nelle varie definizioni proposte di "complessità" vi è una confluenza nella stessa parola di concetti profondamente diversi: a volte per sistemi complessi si intendono sistemi strutturati, come una cellula, un ecosistema o un automa; altre volte, come nel caso dei sistemi caotici, la "complessità" del sistema sembra riguardare unicamente la difficoltà di fornirne una descrizione. La confusione arriva al punto che mentre la crescita di complessità è stata vista come un fenomeno in qualche senso opposto alla crescita dell'entropia, altri hanno proposto l'entropia stessa come misura della complessità. Le definizioni formalizzate dei matematici (discusse più avanti da Isola) convivono con la nozione generica, discorsiva e in fin dei conti banale usata dagli antropologi e giustamente criticata da Liverani.

Sono state però proposte alcune idee generali e qualitative, che ambivano a unificare le diverse applicazioni dell'idea di complessità anche prima di una sua eventuale formalizzazione. La principale parte da una osservazione: mentre il secondo principio della termodinamica prevede, con l'aumento dell'entropia, una crescente degradazione di quella che si può ragionevolmente chiamare la

“complessità” dei sistemi isolati, in una serie di casi sembra esservi evidenza del contrario: sia l’evoluzione biologica sia l’evoluzione delle società umane sembra procedere infatti dal semplice al complesso. Naturalmente non vi è alcuna contraddizione con il secondo principio della termodinamica, poiché non si tratta di sistemi isolati: è anzi ben noto che isolare un essere vivente è un sistema sicuro per ucciderlo. Trasformazioni in cui alcune parti di un sistema diminuiscono la propria entropia accrescendo quella dell’ambiente che li circonda, magari aumentando, in qualche senso da specificare, la propria “complessità”, sono certamente compatibili con la termodinamica. Alcuni esempi in cui ciò accade in sistemi non biologici sono stati studiati da Prigogine ed è stata proposta la possibilità di un generale “secondo principio della complessità”, che dovrebbe fornire una spiegazione unificata di tutti questi fenomeni.

Si tratta però di propositi e di programmi. Nessun “principio della complessità” è stato finora neppure precisamente formulato. La fede in una spiegazione “globale” che sta per essere trovata non può essere, appunto, che una fede.

L’idea che esista una legge di natura generalissima sull’evoluzione dal semplice al complesso, valida per la cosmologia, l’evoluzione biologica e la storia, è stata recentemente criticata in un bel libro da Pietro Greco,³ che ne ha mostrato la debolezza della presunta base fattuale, l’origine ideologica e la pericolosità. La cultura esige una continua tensione tra i tentativi di sintesi e lo studio, umile e analitico, dei fatti che rifiutano l’inquadramento negli schemi proposti, mentre la fiducia in modelli onnicomprensivi si accompagna spesso al disinteresse per i fatti che dovrebbero essere modellizzati. Abbiamo visto come, nel caso della protostoria, la riduzione della storia ad antropologia e dell’antropologia a generici modelli di “accrescimento della complessità” possa accompagnarsi ad uno scarso interesse per le concrete realizzazioni storiche di fenomeni quali la nascita dello stato. Fenomeni analoghi sono riconoscibili in molti altri

³ P. Greco, *Evoluzioni. Dal Big Bang a Wall Street: la sintesi impossibile*, CUEN, Napoli 1999.

campi. La proposta di principi universali come il “secondo principio della complessità”, pretendendo di spiegare sia l’evoluzione biologica che la storia umana allo stesso modo dei fenomeni fisici, può reintrodurre di fatto forme di riduzionismo che sembravano da tempo superate. L’idea di poter “spiegare” una serie di evoluzioni con la crescita di complessità che ne costituisce il risultato ha portato alcuni autori a riproporre il concetto aristotelico di causa finale. Tra gli esiti epistemologici della “complessità” appaiono così ritorni sia al positivismo di Comte sia alla teleologia aristotelica.⁴

Se i tentativi di formulare principi generalissimi sulla complessità hanno avuto così scarso successo, dobbiamo chiederci a cosa sia dovuta la straordinaria fortuna dell’idea di complessità, che in pochi anni è dilagata in tutti i settori disciplinari, e quale sia il collante che ne unisce i vari aspetti contraddittori. È possibile che si tratti solo di un gigantesco malinteso, che in realtà accomuna argomenti sostanzialmente eterogenei?

La cronologia della diffusione dell’idea di complessità, dagli ambienti fisico-matematico-ingegneristici a quelli biologici, da questi ultimi a quelli sociologici, antropologici o storici, per finire infine ai sociologi, ai mediologi e ai politici, è quasi esattamente sovrapponibile alla fortuna della “rivoluzione informatica” e ai tempi della sua espansione nei diversi settori. Credo che questa considerazione, per quanto scontata e banale, sia essenziale per chiarire il ruolo della “complessità” e i suoi aspetti contraddittori. Una prima origine di contraddizioni è infatti nella doppia genesi del concetto, al quale hanno contribuito due diverse categorie di ricercatori, accomunati dall’uso delle nuove tecnologie.

La scienza esatta ha sempre avuto come proprio punto di partenza masse di dati quantitativi (reali nelle scienze sperimentali e virtuali in quelle matematiche) e come obiettivo spiegazioni sintetiche e “qualitative”. Rientra pienamente in questa tradizione l’elaborazione di schemi concettuali generali utili per la descrizione sin-

⁴ Un’interessante esposizione di entrambi i fenomeni culturali è nel libro appena citato di Greco.

tetica e la gestione di quella che potremmo chiamare l'“informazione strutturata” resa disponibile dalle nuove tecnologie. Di questi sviluppi fa parte, tra l'altro, anche l'elaborazione di diverse nozioni matematiche di “complessità”.

Le nuove tecnologie hanno però offerto anche un'altra possibilità, certamente più comoda: quella di compiere l'operazione specularmente opposta a quella compiuta tradizionalmente dal fisico o dal matematico, partendo dallo studio di un oggetto dotato di una ricca struttura qualitativa e ricavandone una massa informe di dati. È paradossale e fuorviante che questo tipo di lavoro sia stato spesso presentato come un'estensione a nuovi campi delle tecniche della scienza esatta.⁵

L'abitudine a sostituire le spiegazioni con la semplice accumulazione di dati tende naturalmente a estendersi anche ai casi in cui il *computer* non è direttamente usato. Diamo di nuovo la parola a Liverani, che, sempre a proposito del processo di formazione dello stato, scrive:

«Ovviamente ogni fattore può avere avuto la sua importanza; e del resto nella ricerca di un processo “ideale” andavano a confluire casi storici tra loro diversi. Ma il dilagare della spiegazione multi-fattoriale (proprio come il dilagare della complessità) rischia di vanificare la comprensione essenziale. Da quando si cominciò a visualizzare il processo per mezzo di “diagrammi di flusso”, sembra che l'ambizione sia stata quella di proporre uno schema sempre più fitto di caselle e di frecce, in un tale groviglio di feedback incrociati che la lettura immediata dello schema, e dunque la comprensione del fenomeno, ne risulta vanificata».

Chi, partendo da un oggetto riccamente strutturato, ne ricava una massa informe di dati (poco importa se si tratta di una tabella di numeri o di un complicatissimo diagramma di flusso), che tra-

⁵ Su questo argomento cfr. l'articolo di Paolo Radiciotti apparso sul numero scorso di questa rivista.

scende ogni possibilità di comprensione sintetica e può solo essere analizzato automaticamente, sarà portato a convincersi della inevitabile incomprendibilità del proprio oggetto d'indagine (e del mondo), alimentando così la seconda faccia della "complessità".

Non è stupefacente la straordinaria pervasività di nozioni che alla resa dei conti possono rivelarsi concettualmente deboli: gli studiosi che, descrivendo i rispettivi oggetti di indagine, trovavano insospettate e eccitanti affinità tra i problemi delle rispettive discipline, parlandone in termini di una generalissima "teoria della complessità", probabilmente in molti casi stavano usando gli stessi pacchetti *software* per la gestione di *data base*.

Naturalmente la produzione di masse informi di dati non è una prerogativa degli studiosi di provenienza umanistica convertiti all'uso passivo delle applicazioni dell'informatica; anche chi fa ricerca in un dipartimento di matematica o di fisica può usare le nuove tecnologie nella stessa direzione: è il caso dei lavori di esplorazione di fenomenologia numerica compiuti in assenza di idee guida. D'altra parte l'uso sistematico di dati quantitativi può essere utilissimo in storia o in filologia (e lo è stato in moltissimi casi) quando si possiedono strumenti concettuali che permettono di dar loro un significato, quando cioè l'accumulo di dati quantitativi costituisce una tappa intermedia verso la comprensione qualitativa. L'uso di nozioni banali e generiche di "complessità" (come quella sintetizzata e giustamente criticata da Liverani) non sembra però che sia stato in questi casi utile e se tende a sostituire le categorie specifiche delle varie discipline rischia di produrre un impoverimento culturale.

All'origine del fenomeno complessità nell'ambito scientifico non vi era stata una nozione generica di "complessità", ma la visibile confluenza di diversi filoni di ricerca. Per individuarne rapidamente qualcuno conviene accennare ad alcuni antefatti della complessità.

Un primo antefatto è rappresentato dalla meccanica statistica dell'equilibrio. Uno dei suoi principali problemi è costituito dalle transizioni di fase. Se si esamina una singola molecola di acqua non si può attribuirle alcuna proprietà che permetta di distinguere se si

tratta di una molecola di acqua liquida, di ghiaccio o di vapore. Evidentemente un sistema formato dagli stessi componenti elementari, che, considerati in coppie, interagiscono tra loro allo stesso modo, può esibire comportamenti collettivi vistosamente diversi, che variano bruscamente dall'uno all'altro: l'acqua liquida infatti ghiaccia senza passare attraverso alcuno stato intermedio tra quello liquido e quello solido. Va sottolineato che il fenomeno delle transizioni di fase (nell'esempio fatto le tre "fasi" sono il vapore, il liquido e il solido), pur essendo ben noto da sempre dal punto di vista fenomenologico, solo in tempi recenti ha ricevuto una soddisfacente modellizzazione matematica, nel senso che solo da alcuni decenni sono stati sviluppati modelli matematici rigorosi nei quali si può dimostrare l'esistenza di transizioni di fase e si possono descrivere tutte le fasi del sistema (non si tratta però di modelli realistici per descrivere fenomeni quali il congelamento dell'acqua). Un sistema costituito da moltissime componenti capaci di cambiare bruscamente il proprio comportamento collettivo è certamente interessante ed è troppo complicato per essere descritto completamente: bisogna rinunciare a descrivere lo stato di ogni componente, limitandosi a prevedere caratteri globali, come è appunto la fase in cui si trova il sistema. Se tuttavia i diversi comportamenti collettivi possibili sono così pochi come le tre fasi dell'acqua che abbiamo citato, non siamo in presenza di un sistema "complesso", nel senso in cui oggi viene usata questa parola. Va però precisato che in passato qualcuno aveva considerato come proprietà caratteristica dei sistemi "complessi" proprio l'emergenza di proprietà collettive la cui descrizione non era riducibile a quella degli stati dei singoli componenti.

Altri antefatti importanti provengono dalla biologia. I biologi da sempre hanno studiato sistemi complessi, che non solo sono costituiti da molte componenti variamente interagenti tra loro, ma possono anche dar luogo a molti diversi comportamenti collettivi; usando la terminologia dei meccanici statistici, si tratterebbe di sistemi che possono trovarsi in moltissime "fasi" diverse. Non è però questa la terminologia usata classicamente dai naturalisti: un eto-

logo che studia un gorilla non pensa ai suoi diversi possibili comportamenti come a delle "fasi", dovute all'interazione reciproche delle cellule, in qualche senso analoghe ai tre stati di aggregazione della materia, né pensa di fornirne un modello matematico. Molti altri oggetti di studio dei biologi condividono le caratteristiche precedenti: un batterio e un cervello sono entrambi costituiti da molti componenti diversi tra loro interagenti (rispettivamente macromolecole o neuroni) che danno luogo a molti possibili diversi comportamenti collettivi; tali comportamenti erano però studiati a un livello radicalmente diverso da quello dei singoli componenti e senza alcun tentativo di modellizzazione matematica, sia perché l'interazione tra i componenti elementari era poco nota, sia perché il vecchio programma riduzionista del positivismo classico appariva da tempo superato e screditato.

Un altro antefatto è fornito dalla meccanica classica dei sistemi formati da pochi punti materiali e a prima vista è del tutto diverso dagli esempi precedenti. Si tratta infatti di sistemi che a differenza dei precedenti appaiono completamente descrivibili e predicibili: per conoscere lo stato dei punti materiali "basta" infatti conoscerne posizione e velocità: informazioni che, se si conoscono le forze agenti, sono sufficienti per determinare univocamente il futuro del sistema.

Alcuni decenni fa i tre settori appena considerati hanno iniziato a percorrere strade che apparivano parzialmente convergenti. In primo luogo i progressi della biochimica e della neurofisiologia hanno chiarito i meccanismi elementari del metabolismo cellulare e batterico e quelli della trasmissione di informazioni da un neurone all'altro. Sia nel caso della cellula che in quello del cervello il problema cominciò quindi a essere concepito come lo studio del comportamento collettivo risultante da un gran numero di interazioni che, almeno in linea di principio, erano singolarmente note: un problema che mostrava qualche affinità con il problema classico delle transizioni di fase. D'altra parte la meccanica statistica cominciava ad affrontare il problema dello studio di modelli, detti "vetri di spin", in cui, permettendo alle interazioni tra i singoli

componenti di essere di diverso tipo, potevano ottenersi moltissime fasi diverse. Cominciava quindi ad intravedersi la possibilità di una convergenza tra studio di sistemi biologici e modelli di meccanica statistica, che sembravano esibire caratteristiche comuni di "complessità".

I modelli della dinamica di un singolo o pochi punti materiali possono apparire irrimediabilmente lontani dai problemi precedenti. Come abbiamo già ricordato, per prevedere perfettamente il futuro di un punto materiale in moto in un campo di forze noto basta conoscerne posizione e velocità. Ma come si fa a conoscere la posizione di un punto? Si tratta veramente di una conoscenza "semplice"? Per conoscere l'esatta posizione di un punto occorre conoscere le sue coordinate; occorre cioè conoscere tre numeri reali, ciascuno individuabile con una successione di infinite cifre; occorre quindi una quantità infinita di "informazione", con la quale si potrebbe descrivere altrettanto bene, ad esempio, il completo stato dei neuroni in cui si sono trovati nella loro storia tutti i cervelli apparsi sulla terra. Cosa c'è di "semplice" in tutto ciò? L'idea di misurare la "semplicità" di un sistema dal numero delle sue componenti comincia ad apparire meno ovvia: se infatti chiamiamo "componente" del sistema ogni cifra di una coordinata, si ottiene una descrizione matematica in cui un sistema formato da un singolo punto è costituito da infinite componenti discrete, proprio come alcuni modelli di meccanica statistica considerati da sempre "complessi".

È chiaro che un sistema costituito da un solo punto può essere considerato "semplice" solo se rinunciamo a darne una descrizione infinitamente accurata. D'altra parte il determinismo classico garantisce la possibilità di prevedere il futuro di un sistema se se ne possiede una descrizione infinitamente accurata della condizione iniziale. Naturalmente possiamo, e dobbiamo, rinunciare all'idea di descrivere il futuro con infinita precisione, ma non è ovvio che questa rinuncia sia sufficiente. Il vero problema è quello di sapere se una descrizione approssimata del presente permette una previsione approssimata del futuro. La risposta dipende dal sistema. Tra

i sistemi formati da pochi punti, solo quelli in cui ciò è possibile possono essere chiamati "semplici" senza problemi. Va sottolineato che, contrariamente a quanto si legge in quasi tutta la letteratura divulgativa, tra i sistemi "semplici" di questo tipo vi sono molti sistemi dinamici non lineari.⁶ In altri sistemi l'informazione si degrada con tale rapidità che un errore comunque piccolo sulla condizione iniziale impedisce di prevedere l'evoluzione oltre un certo tempo. Sembra plausibile che tali sistemi (detti "sistemi dinamici caotici") possano ambire alla qualifica di sistemi "complessi" quanto quelli ottenuti con molte componenti (almeno nel senso della complessità del loro studio). Molti sistemi di questo tipo sono stati identificati e studiati e la mole del lavoro di ricerca (soprattutto numerica) sul loro conto si è rapidamente moltiplicata a partire dagli anni '70.

Una convergenza molto celebrata tra l'ultimo esempio e la biologia fu assicurata dallo studio degli ecosistemi. Si scoprì infatti che un ecosistema aveva un duplice titolo per essere considerato "complesso". In primo luogo si tratta evidentemente di un sistema in cui molte componenti interagiscono variamente tra loro, dando luogo a molti diversi possibili comportamenti collettivi, con dei *feedback* che assicurano una capacità di autoregolazione. In secondo luogo anche nel caso di modellini ipersemplicati, e perfino nel caso di una singola interazione tra una sola specie e il substrato, può accadere che l'evoluzione sia di tipo "caotico".⁷

Gli studi accennati finora sin dall'inizio apparvero convergenti con altri filoni di natura tecnologica: la vecchia cibernetica, in particolare, sin dal suo nascere aveva avuto per oggetto sistemi capaci

⁶ Ad esempio il classico pendolo che si studia al liceo diviene un sistema dinamico lineare solo se viene "linearizzato", come in genere si fa nei libri nel caso delle "piccole oscillazioni". Se la linearizzazione non viene effettuata (se cioè si conserva il seno che appare nell'equazione, senza sostituirlo con il suo argomento) si ottiene un sistema dinamico non lineare. Un punto materiale che si muove in un campo gravitazionale centrale seguendo le leggi di Keplero costituisce un altro sistema dinamico non lineare. Entrambi i sistemi sono completamente privi delle proprietà associate nella letteratura divulgativa a tutti i sistemi non lineari.

⁷ La cosa fu osservata nel famoso lavoro di R. May, «Simple mathematical models with very complicated dynamics», in *Nature*, 261, June 1976.

di qualche forma di “autoregolazione” che li accomunava al comportamento di un organismo vivente, una cellula o un ecosistema. Inoltre altri sistemi formati da molti oggetti interagenti davano luogo a comportamenti collettivi studiati in ambienti ingegneristici, come le reti telefoniche o il traffico ferroviario o stradale. Problemi convergenti venivano naturalmente anche dalla macroeconomia.

Tutti i problemi considerati condividevano la caratteristica di essere studiati soprattutto numericamente, con l'aiuto di *computer*. In effetti, come abbiamo già notato, i sistemi “complessi” coincidono il più delle volte con quelli il cui studio richiede l'uso di un *computer*. Il rapporto tra il versante scientifico della complessità ed i *computer* è stato però molto più stretto di quello consistente in un uso strumentale delle nuove tecnologie. Vi è stata infatti una continua osmosi tra i procedimenti elaborati per studiare vari “sistemi complessi” e le tecniche informatiche. In particolare diversi algoritmi usati inizialmente per simulare numericamente sistemi di meccanica statistica si sono trasformati in tecniche di analisi numerica. È quanto è avvenuto ad esempio nel caso della “ricottura simulata” (*simulated annealing*), nel quale tecniche introdotte per trovare gli stati di energia minima di sistemi di meccanica statistica si sono trasformate in algoritmi utili per risolvere numericamente problemi di ottimizzazione in molte variabili. Un fenomeno analogo ma di più vasta portata ha riguardato le reti neurali, che sono nate come modello matematico (studiato anche teoricamente, ma soprattutto attraverso simulazioni numeriche) di processi mentali e sono rapidamente divenute una tecnica informatica usata per risolvere problemi di diversa natura.

In entrambi i casi, come in altri analoghi, si è verificato lo stesso processo. I ricercatori erano interessati inizialmente a studiare dei sistemi reali (fisici o biologici) troppo complicati per essere descritti in modo completo; hanno allora elaborato dei “modelli” semplificati che, conservando alcune caratteristiche essenziali dei sistemi reali, potevano essere studiati con delle simulazioni numeriche. A questo punto la ricerca ammetteva spesso una descrizione duplice: dal punto di vista delle intenzioni del ricercatore l'oggetto dell'in-

dagine continuava ad essere il sistema fisico o biologico scelto inizialmente, ma l'oggetto concreto realmente indagato diveniva il *computer* stesso nelle particolari condizioni in cui operava nel corso della simulazione. Ricerche di questo tipo, oltre e più che produrre conoscenze sui sistemi inizialmente studiati, finivano spesso con l'accrescere le potenzialità degli elaboratori, permettendo la soluzioni di problemi di molti tipi, a volte lontanissimi dagli obiettivi iniziali. Si scoprì, ad esempio, che si potevano "ripulire delle immagini" o riconoscere le cifre scritte su un assegno bancario usando degli algoritmi tratti dallo studio dei sistemi ferromagnetici o da quello delle reti di neuroni. La reale natura "informatica" della ricerca svolta in molti casi si era fatta strada da sola, al di là dalla consapevolezza del ricercatore, che tende spesso a considerare gli strumenti informatici una protesi della propria persona e quindi in ogni caso soggetto e non oggetto della ricerca.

Il fenomeno appena descritto ha precedenti in tutte le epoche. Gli strumenti per il trattamento delle informazioni (e in particolare le tecniche di scrittura e di calcolo) hanno infatti sempre influenzato profondamente gli sviluppi scientifici, ma, come del resto è accaduto per le strutture linguistiche, quasi sempre in modo inconsapevole.⁸

Finora non abbiamo neppure definito cosa gli scienziati abbiano inteso esattamente per "complessità". Nell'ambito di teorie matematiche sono state proposte varie definizioni di complessità. Esse sono discusse da Isola nel saggio che segue questo intervento, ma nessuna di loro è stata finora applicata fruttuosamente a campi come la protostoria, la sociologia o la teoria dell'evoluzione biologica. Probabilmente si tratta di definizioni che possono essere utili ad altre categorie di persone.

⁸ Ad esempio nell'astronomia mesopotamica e in quella greca venivano attribuite al moto degli astri caratteristiche rispettivamente numeriche o geometriche tipiche dei diversi modi di trattare l'informazione nelle due civiltà.