

COMPUTER SIMULATIONS ED ESPERIMENTI IN VIRTUO



Viola Schiaffonati

L'impresa scientifica contemporanea è caratterizzata dal diffuso utilizzo di simulazioni condotte al computer. In questo lavoro ci proponiamo di riflettere sulle potenzialità, sui limiti e sui problemi di queste simulazioni usate come esperimenti. Il lavoro analizza, in particolare, le ragioni epistemologiche sottostanti a tale uso e le strategie di validazione dei risultati delle simulazioni. Sono avanzati alcuni spunti di riflessione, a partire da una prospettiva filosofica, sulla natura dell'informatica stessa e la sua legittimità come "infra-science", ossia come scienza al servizio delle altre scienze.

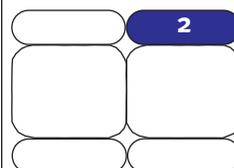
1. INTRODUZIONE

Il modo in cui le sostanze chimiche si distribuiscono attraverso le correnti oceaniche e i sistemi idrici, la resistenza degli edifici ai terremoti, il comportamento degli aerei in condizioni climatiche avverse e la diffusione delle infezioni nel mondo sono solo alcuni esempi di sistemi complessi analizzati mediante l'uso di simulazioni condotte al computer. Si tratta di progetti che hanno valenze scientifiche e anche un forte impatto sui singoli individui e sull'intera popolazione umana. Ma quali ragioni abbiamo per fidarci di queste simulazioni e per giustificare il loro uso in indagini scientifiche che hanno ricadute così importanti sulle nostre vite? In questo lavoro ci proponiamo di riflettere sulle potenzialità, sui limiti e sui problemi delle simulazioni a partire dal riconoscimento che l'impresa scientifica contemporanea è caratterizzata dal diffuso utilizzo di simulazioni condotte al computer per fini sperimentali. Il lavoro analizza, in particolare, le ragioni epistemologiche sottostanti a tale uso e le strategie di validazione dei risultati delle simulazioni stesse. In questo mo-

do intendiamo ragionare criticamente su una delle realizzazioni dell'informatica (le simulazioni) e avanzare alcuni spunti di riflessione, a partire da una prospettiva filosofica, sulla natura dell'informatica stessa e la sua legittimità come "infra-science", ossia come scienza al servizio delle altre scienze.

Per riflettere sulla legittimità, sulle potenzialità e sui limiti delle simulazioni impiegate come esperimenti occorre anzitutto riflettere sul concetto di simulazione, partendo dal quale forniremo una definizione di *computer simulation*¹ e una schematica tassonomia delle simulazioni (paragrafo 2). Successivamente presenteremo le ragioni teoriche e le ragioni pratiche per usare le *computer simu-*

1 Utilizziamo la locuzione inglese *computer simulation* per mancanza di un'adeguata traduzione italiana. Infatti la traduzione "simulazione eseguita al computer", come si vedrà nel seguito, non è del tutto esatta. Una *computer simulation* non solo è eseguita da un computer, ma è basata su un modello computazionale che rappresenta il comportamento di un sistema il cui stato cambia nel tempo.



In una simulazione è possibile distinguere due elementi: il *tipo* di modello e l'*agente* che esegue tale modello (Tabella 1). Nel caso di un modello fisico - inteso come rappresentazione fisica di un sistema target - l'agente che esegue tale modello è la "natura" stessa; nel caso di un modello matematico (come per esempio un sistema di equazioni), l'agente può essere sia un essere umano, sia un computer; nel caso di un modello computazionale, l'agente è generalmente un computer. Concentriamoci ora proprio su quest'ultimo caso, quello delle simulazioni basate su modelli computazionali e chiamate *computer simulations*. I modelli computazionali sono meccanismi formali in grado di manipolare stringhe di simboli, ossia di computare funzioni. Un modello computazionale completamente specificato definisce un programma (inteso come una sequenza di operazioni), mentre il processo che risulta dall'esecuzione di un modello computazionale, e che rappresenta il comportamento di un sistema, è una simulazione eseguita da un computer. Non ogni esecuzione di un modello computazionale è una *computer simulation*: affinché si possa parlare di *computer simulation* il modello computazionale deve rappresentare il comportamento di un sistema il cui stato cambia nel tempo. Una *computer simulation* necessita sia della presenza di un modello computazionale che rappresenti un sistema in evoluzione, sia del fatto che tale modello sia eseguito da un computer.

2.3. Controllo e gradi di rappresentazione

La distinzione che abbiamo introdotto fra i tipi di modello sottostanti alle simulazioni, ci consente di evidenziare un altro aspetto interessante per distinguere fra le simulazioni: il loro *grado* di rappresentazione. Si tratta in sostanza di capire che cosa deve essere rappresentato affinché la simulazione possa aver luogo. Se consideriamo la simulazione basata su un modello fisico, è facile osservare che in questa situazione il modello è eseguito dalla realtà fisica che lavora - per così dire - da sé, e che la rappresentazione di questa realtà non è necessaria perché possa esserci una simulazione. In questo caso, piuttosto, l'obiettivo è di isolare nel modello fisico

Modello / Agente	Fisico	Matematico	Computazionale
Ambiente naturale	x		
Essere umano		x	
Computer		x	x

TABELLA 1

I modelli e gli agenti che eseguono tali modelli nelle diverse tipologie di simulazione

sottostante gli aspetti di questa realtà che ci interessano valutare, come è evidente nell'esempio del modellino in scala di un ponte discusso precedentemente. Al contrario, una *computer simulation* che è basata su un modello computazionale (per esempio la simulazione del processo di ripiegamento di una proteina, ossia il cosiddetto ripiegamento molecolare attraverso il quale le proteine ottengono la loro struttura tridimensionale e possono quindi assumere la loro funzione fisiologica) necessita di un grado di rappresentazione maggiore. Non solo è necessario un modello del fenomeno che si sta investigando (il ripiegamento della proteina), ma anche un modello dell'ambiente in cui questo fenomeno ha luogo (per esempio le condizioni alle quali le proteine si ripiegano nelle loro forme biochimiche funzionali).

Nel rappresentare questo ambiente, lo scopo non è quello di isolare alcuni aspetti di interesse (come nel caso della rappresentazione fornita dal modello), ma di rendere questa rappresentazione più precisa possibile per ciò che si vuole ottenere. Si potrebbe, in un certo senso, affermare che il grado di rappresentazione è direttamente proporzionale al grado di controllo. Quando occorre un alto grado di rappresentazione - come nel caso delle *computer simulations* che hanno luogo in una realtà rappresentata - il grado di controllo che possiamo avere è maggiore dato che si tratta di rappresentazioni semplificate che non considerano molti degli elementi presenti invece nella realtà. Quando, al contrario, le simulazioni hanno luogo nella realtà, e non in sue rappresentazioni, il controllo è inferiore dato che la realtà è complessa e ricca di elementi, la maggior parte dei quali non sono neppure conosciuti.

3. ESPLORARE IL MONDO: SIMULAZIONI COME ESPERIMENTI

Come si è visto, le simulazioni possono essere impiegate per diversi scopi. In questo paragrafo discutiamo i casi in cui le simulazioni possono essere usate come esperimenti, presentando l'idea di esperimento esplorativo e fornendo le ragioni epistemologiche che possono giustificare tale uso.

3.1. Simulazioni ed esperimenti

L'uso per scopi sperimentali di *computer simulations*, che ha caratterizzato la pratica scientifica in questi ultimi anni, porta a domandarsi quale relazione possa esistere fra simulazioni ed esperimenti. Un esperimento è un'esperienza controllata, ossia un insieme di osservazioni e azioni, che hanno luogo in un contesto controllato e che servono per indagare una certa ipotesi. Generalmente, per spiegare che cos'è un esperimento, più che dare una definizione, è preferibile fornire una lista non esaustiva di proprietà. Gli esperimenti fanno uso di misure precise per descrivere quantitativamente i fenomeni sotto indagine; devono essere ripetibili in tempi e luoghi differenti per valutare la validità e l'universalità dei risultati; devono essere riproducibili per confermare l'indipendenza dei risultati dallo sperimentatore; devono essere descritti con un linguaggio preciso che dia rigore ai dati sperimentali; i loro risultati devono essere confrontabili. Sebbene oggi le discipline scientifiche sperimentali abbiano raggiunto alti gradi di specializzazione, e sia quindi impossibile offrire una definizione di esperimento che riesca a restituire la specificità di ognuna di esse, queste proprietà generali costituiscono un nucleo comune in grado di dare un'idea delle caratteristiche che un esperimento deve avere in generale.

Inizialmente le simulazioni sono state semplicemente considerate alla stregua di tecniche per condurre esperimenti su computer digitali (Naylor 1966); solo in seguito è stata avanzata l'ipotesi che le *computer simulations* possano essere viste come strumenti intermedi, concettualmente situati fra le teorie e i metodi empirici tradizionali (Rohrlich 1991). Le *computer simulations*, inoltre, sono state considerate come sostituti per esperimenti impossibili da

svolgere nella realtà (Hartmann 1996) e, in generale, come nuovi strumenti sperimentali (Humphreys 2004), arrivando a vederle come tipi speciali di esperimenti (Simpson 2006). Riteniamo che un modo chiaro per affrontare questa relazione sia di ammettere che le *computer simulations* possono essere usate come esperimenti, nel caso in cui l'obiettivo per cui una simulazione viene eseguita coincide con l'obiettivo per cui un esperimento viene eseguito, come ad esempio per scoprire nuove ipotesi esplicative, per confermare o per refutare teorie, per scegliere fra ipotesi rivali. Al contrario, riteniamo che accomunare completamente simulazioni ed esperimenti sia fuorviante, dato che è perfettamente plausibile che ci siano simulazioni che non sono esperimenti, ossia simulazioni che sono condotte senza avere alcuno scopo sperimentale in mente. Si pensi, per esempio, al caso di un programma per la simulazione del processo di ripiegamento delle proteine. Gli scopi per cui una tale simulazione è eseguita possono essere molteplici, comprendendo motivazioni didattiche (per illustrare il funzionamento del processo a degli studenti) fino a includere motivazioni scientifico-sperimentali (per ispirare altri esperimenti, per trovare valori significativi per parametri importanti, per sviluppare nuove ipotesi e modelli).

Secondo l'idea che abbiamo appena avanzato, le *computer simulations* costituiscono, negli ambiti che abbiamo citato, una parte degli esperimenti tradizionali, con gradi di estensione diversi a seconda dei casi. Può, infatti, esservi il caso estremo in cui una simulazione sia così estesa da rappresentare l'intero esperimento in modo che quest'ultimo sia "ridotto" a un certo numero di simulazioni e, simulazione ed esperimento, praticamente coincidano; è il caso degli esperimenti impossibili da fare nella realtà in cui le simulazioni sostituiscono (sperimentalmente parlando) gli esperimenti. Si pensi a questo proposito all'analisi delle conseguenze a lungo termine dell'accrescimento della tassazione di un punto percentuale. In altri casi, più comuni, le simulazioni possono "partecipare" a un esperimento in modi differenti. Possono essere usate come tecniche nei casi in cui è impossibile derivare le soluzioni analitiche di sistemi di equazioni differenziali che descrivono determinati fenomeni.

Se tale uso è piuttosto comune in fisica, dove le teorie sono spesso espresse in termini matematici, non altrettanto comune è in biologia, dove teorie eleganti e compatte come quel-

le della fisica sono rare. Le spiegazioni in biologia sono spesso espresse mediante il linguaggio naturale e può capitare che non siano sempre basate su paradigmi scientifici stabili e definitivi. Ma è proprio per questo motivo che le simulazioni in biologia possono contribuire alla definizione del quadro concettuale e alla costruzione della conoscenza teorica, ricoprendo un ruolo importante nello sviluppo di nuove ipotesi, come nel caso in cui i risultati di una simulazione suggeriscono nuove regolarità che non avrebbero potuto essere estratte dal modello sottostante in alcun altro modo.

3.2. Esperimenti esplorativi

Per i casi in cui i risultati delle simulazioni contribuiscono alla definizione di modelli teorici, introduciamo il termine “esperimenti esplorativi”. Naturalmente ogni esperimento è, per sua natura, esplorativo; in questo caso però adottiamo questo aggettivo proprio per sottolineare il fatto che la correttezza della congettura avanzata non è garantita, anche se l’esperimento può essere di aiuto nel costruirla. In altre parole, gli esperimenti esplorativi sono in grado di raccogliere nuovi elementi da trasformare in conoscenza che deve poi essere ulteriormente verificata. Come vedremo, si tratta di una classe di esperimenti i cui risultati, in un certo senso, offrono meno garanzie di affidabilità ma hanno la fondamentale funzione di aumentare lo spazio concettuale delle esplorazioni e, proprio per questo motivo, richiedono un’attenzione maggiore nei confronti del problema della validazione dei loro risultati (cfr. paragrafo 4).

In questo ambito, è stata proposta la locuzione *esperimento in virtuo* (Desmuelles *et al.* 2005) per indicare i casi in cui le *computer simulations* vengono utilizzate come esperimenti esplorativi. L’idea è quella di sottolineare la possibilità di intervenire virtualmente

La computer simulation costituisce una nuova via per l’indagine dei fenomeni. Rispetto alla sperimentazione tradizionale presenta sostanziali vantaggi di flessibilità, di tempo e di costo. Al limite, può sostituire esperimenti altrimenti impossibili per ragioni economiche o temporali.

sulle procedure di simulazione in modo da esplorare le diverse possibilità dei fenomeni indagati. Il concetto di esperimento *in virtuo* può essere interpretato in due modi, uno più ristretto e uno più ampio. Nel primo caso si tratta della possibilità tecnica (tipica dei sistemi multiagente) di intervenire a *run-time* nel processo di simulazione grazie agli specifici linguaggi di programmazione adottati (Querrec *et al.* 2003); nel secondo caso si tratta, invece, di una caratteristica più generale degli approcci computazionali che non implica l’adozione di nessuna tecnica particolare ed è tipica di quella parte della biologia che, accanto ai metodi sperimentali tradizionali, utilizza la modellazione computazionale (Holcombe 2007). La sperimentazione *in virtuo* promuove una nuova modalità investigativa che consente un’estensione dell’ambito di indagine lungo tre dimensioni: *spaziale* (accesso a parti della realtà altrimenti inaccessibili), *temporale* (accelerazione della scala temporale reale), e *concettuale*. In quest’ultimo caso gli spazi esplorativi possono essere potenziati mediante la manipolazione virtuale della realtà simulata. Si pensi, ad esempio, al caso della modifica virtuale delle proprietà di certi fenomeni biologici per indagare la loro influenza su altri processi più complessi (Sun *et al.* 2008). Vale la pena notare che, in questi casi, le simulazioni non sono più semplicemente dedicate a rendere esplicite le implicazioni di modelli teorici ben formulati dato che, generalmente, non vi sono sistemi di equazioni che rappresentino in maniera definitiva tali processi biologici. Al contrario, le simulazioni sono dirette ad aumentare le possibilità esplorative fornendo agli utenti delle modalità per controllare la reattività e l’adattabilità dei modelli in via di definizione in modo che questi ultimi prendano progressivamente forma sulla base dei risultati delle simulazioni. Tale indagine trova dei punti di contatto significativi con l’idea di “modellazione dall’alto” (*modeling from above*) avanzata qualche anno fa da una nota filosofa della biologia come Evelyn Fox Keller (2003).

3.3. Quali ragioni?

L'uso sempre più esteso delle *computer simulations* come esperimenti non illumina, tuttavia, le ragioni più profonde di tale pratica: quali sono effettivamente le ragioni *perché* le simulazioni possano essere usate come esperimenti? Riteniamo che a questo proposito possano essere identificati due differenti ordini di ragioni (teoriche e pratiche). In primo luogo, esistono ragioni teoriche che sono connesse alla somiglianza esistente fra tecniche di sperimentazione e tecniche di simulazione (analisi di dati, problematiche relative a incertezza ed errore). Sebbene queste ragioni siano importanti, riteniamo tuttavia che non siano sufficienti per giustificare da un punto di vista epistemologico l'uso delle simulazioni come esperimenti. Infatti, oltre a condividere tecniche e strumenti, esperimenti e simulazioni condividono una necessità, che è quella di *controllare* le proprietà oggetto di indagine. Il concetto di controllo è strettamente connesso all'idea che gli esperimenti consistano, fra le altre cose, nella produzione di circostanze controllate, sotto le quali si può assumere che una relazione non dipende da cambiamenti in fattori non controllati. In questo senso il controllo è uno dei termini chiave nella definizione di esperimento come *esperienza controllata*. Non è difficile riconoscere che la stessa idea di controllo si applica bene anche alle simulazioni quando usate per scopi sperimentali; anche in questo caso occorre selezionare e controllare i fattori sperimentali all'interno di un contesto artificiale. Il processo di preparazione di una simulazione, inoltre, è molto simile a quello di un esperimento: ipotesi da testare, circostanze da controllare, parametri da stabilire, tutte attività che, in entrambi i casi, sono compiute da esseri umani che stabiliscono intenzionalmente le pre-condizioni più adeguate. Anche l'esecuzione di una simulazione condivide con l'esecuzione di un esperimento alcuni aspetti. Entrambe richiedono la presenza di un agente che, nel caso di una *computer simulation*, può essere un computer, mentre nel caso di un esperimento è un essere umano. In entrambe le situazioni non è necessario che tale agente sia costantemente coinvolto nel processo di esecuzione: così come in una simulazione l'agente agisce

da sostrato nel quale l'esecuzione può avvenire, così in un esperimento non occorre che lo sperimentatore, pur avendo messo in atto il processo di esecuzione, sia costantemente e attivamente presente affinché l'esecuzione dell'esperimento possa procedere.

Come già anticipato, esistono anche delle ragioni pratiche per usare le simulazioni come esperimenti. In primo luogo, le simulazioni possono essere usate per fare esperimenti numerosi e accelerati, dato che tali esperimenti possono essere ripetuti esattamente, tutte le volte che si desidera, con la garanzia di un grado di precisione non sempre possibile nei casi empirici. In secondo luogo, le simulazioni possono essere usate per fare degli esperimenti che sono difficili da realizzare nella realtà, essendo le simulazioni svincolate dalle molte limitazioni pratiche degli esperimenti reali, come ad esempio la possibilità di cambiare le condizioni al contorno e le condizioni iniziali. In terzo luogo, le simulazioni possono essere usate per fare esperimenti che sono impossibili da eseguire nella realtà, come ad esempio lo studio di porzioni di realtà non accessibili fisicamente (esempio, i processi coinvolti nella formazione delle galassie).

4. BUONE RAGIONI PER FIDARSI DELLE SIMULAZIONI?

Dopo aver discusso l'uso delle *computer simulations* come esperimenti, e le ragioni epistemologiche sottostanti a questo uso, passiamo ora a considerare il problema della validazione dei risultati di queste simulazioni, soprattutto nei casi in cui i modelli su cui le simulazioni si basano non sono fondati in teorie stabili o non possono essere facilmente confrontati con i dati a disposizione.

4.1. Validare i risultati

Quando le simulazioni, e in particolare le *computer simulations*, sono utilizzate come esperimenti, si possono avere due ragioni per fidarsi dei risultati prodotti dalle simulazioni: o i modelli su cui le simulazioni si basano sono radicati in teorie ben fondate indipendentemente (come nei già citati casi in cui i fenomeni in oggetto sono adeguatamente modellati da equazioni), oppure sono presenti dati sperimentali con i quali è possibile confrontare i risultati del-

la simulazione (come nei casi in cui i fenomeni riprodotti artificialmente nelle simulazioni sono comparabili con processi reali). Come abbiamo visto, ciò non è sempre possibile, soprattutto nelle situazioni in cui le simulazioni sono usate per esplorare la realtà senza essere completamente radicate in processi fisici. Come è possibile in questi casi fidarsi dei risultati delle simulazioni? Per rispondere a questa domanda, che è – ricordiamolo – centrale non solo per motivi filosofici ma anche pratici, occorre riflettere ulteriormente sul concetto di simulazione. Una direzione promettente è indicata dalla proposta avanzata in (Winsberg 1999) di considerare le simulazioni basate su gerarchie di modelli. Sarebbe, infatti, semplicistico pensare che i modelli su cui le simulazioni si basano derivino direttamente da modelli teorici (Lenhard 2007), dato che non sempre questi modelli teorici sono chiari, ben fondati e definitivi, e tali quindi da consentire di derivare direttamente i modelli che sono eseguiti per avere le simulazioni. Quando si analizzano i diversi livelli da cui una *computer simulations* è costituita, occorre prendere in considerazione il fatto che una componente decisiva per valutare la “bontà” di una simulazione è il suo basarsi su un buon modello del sistema target che si desidera simulare. Tale modello deve essere trasformato in algoritmi che, alla fine, devono restituirci l’informazione che si desidera sul sistema target (Barberousse *et al.* 2009). Per trasformare i modelli in algoritmi e far sì che gli algoritmi funzionino è necessario gestire una gerarchia di modelli, che vanno dalla conoscenza teorica generale (che in molti casi non è neppure espressa sotto forma di modelli), ai modelli meccanici che servono per applicare la conoscenza teorica idealizzata ai sistemi del mondo reale, ai modelli computazionali che devono rendere trattabili i modelli meccanici, fino ai modelli simulativi che semplificano le assunzioni di fondo, rimuovono gradi di libertà, ottimizzano il codice e così via. Vi sono quindi diversi passaggi critici per muovere dalla conoscenza teorica alla definizione di un modello simulativo, con il rischio che la simulazione perda così il suo “ancoraggio” ai processi fisici reali che dovrebbe riprodurre. Ciò è evidente nei casi in cui i risultati del-

La capacità di simulazione in ogni campo riflette il ruolo trasversale dell'informatica come scienza al servizio delle altre scienze.

le simulazioni non possono essere messi a confronto con dati reali, come per esempio nel caso in cui sia simulata in maniera accelerata l’evoluzione temporale di un organismo.

4.2. Dalla verificabilità all’affidabilità

Supponiamo di aver simulato l’evoluzione di un organismo condensando migliaia di anni e di esperienze in pochi giorni di tempo macchina. Questa simulazione ha prodotto una serie di risultati che ora non possiamo confrontare con nessun dato reale (dovremmo attendere i migliaia di anni che la simulazione ci ha permesso di superare) e che ci appaiono problematici perché risultato di ipotesi e congetture che sono ancora in via di definizione. Come possiamo fidarci di questi risultati?

Innanzitutto riteniamo che il problema della validazione debba essere affrontato sostituendo al più tradizionale e diffuso concetto di verifica quello di *affidabilità*. Ciò significa rinunciare alla verifica intesa come operazione di confronto fra dei risultati e una supposta realtà esterna che può coincidere o meno con tali risultati, in favore di una valutazione sull’affidabilità di questi ultimi che, come vedremo, deve essere affrontata con strategie differenti a seconda dei casi. Si tratta di mettere sullo sfondo il tema della verità, non perché non lo si ritenga importante, ma in quanto il concetto di “affidabilità senza verità” (Winsberg 2006) sembra essere più funzionale a un’operazione di valutazione come quella di cui stiamo parlando. Ciò significa non tanto indebolire lo scenario di riflessione, quanto piuttosto modificare radicalmente la prospettiva in cui ragionare: superare l’idea che alla domanda sulla validità dei risultati possa essere data una risposta univoca e accettare che tale risposta implichi necessariamente dei gradi.

Per stabilire l’affidabilità dei risultati delle simulazioni è possibile considerare diverse strategie. Queste, naturalmente, dipendono dai singoli casi, ma possono essere suddivise all’incirca in tre gruppi. Nel primo gruppo si trovano tutti i casi per cui non vi è bisogno di alcuna strategia particolare perché la validazione avviene rispetto a un insieme ben radicato di conoscenze precedenti o perché il ruolo speri-

mentale delle simulazioni è minimo e si rivela unicamente un completamento all'analisi sperimentale tradizionale (Fisher, Bodenstern 2006). Nel secondo gruppo troviamo i casi che potremmo chiamare ibridi e che richiedono una *strategia minimale*: si tratta dei casi in cui la simulazione è esplorativa - che nei casi di *computer simulations* è classificabile come esperimento *in virtuo* (cfr. paragrafo 3) - ma la validazione avviene *in vitro* o *in vivo*, ossia secondo le metodologie sperimentali più consuete e stabili. Le simulazioni sono impiegate da un punto di vista teorico per esplorare nuove ipotesi conoscitive, funzionando come delle "teorie di prova" (Fox Keller 2003), i cui risultati devono essere poi validati, laddove è possibile, secondo metodi tradizionali. Nel terzo gruppo troviamo infine tutti i casi in cui o i dati empirici sono incompleti e difficili da recuperare oppure lo scenario teorico è ancora congetturale ed è quindi richiesto un *insieme di strategie* che possano fornire una ragionevole credenza nei risultati delle simulazioni. Si tratta di strategie *locali*, che devono essere definite e valutate caso per caso, ma che sono ispirate ad alcuni principi regolativi sottostanti di carattere generale.

In quest'ultimo caso, la credibilità dei risultati delle simulazioni, e quindi della loro affidabilità, proviene da diverse fonti che, singolarmente o combinate, forniscono buone ragioni per fidarsi dei risultati prodotti. In primo luogo il fatto che le tecniche adottate per la realizzazione del modello sottostante la simulazione siano state già impiegate con successo, nonché il fatto che i risultati di una simulazione siano in accordo con dati, osservazioni e intuizioni precedentemente condivise e accettate. Inoltre, la capacità che tali risultati hanno di fare delle previsioni di successo e, infine, la loro capacità di produrre risultati pratici significativi. Questo insieme di strategie non ci obbliga a prendere alcuna posizione relativamente alla "verità" dei risultati: piuttosto che di inferenza dal "successo alla verità" (Kitcher 2001) è più opportuno parlare di un'inferenza dal "successo all'affidabilità". Non si tratta infatti di una singola strategia ma di un insieme di strategie che - come il filosofo della scienza Ian Hacking (1983) ha fatto notare a proposito degli esperimenti in generale - sono fallibili anche se offrono buone ragioni perché possiamo fidarci

delle procedure di simulazione e dei loro risultati. In sostanza il fallimento di alcuni casi non implica il rifiuto dell'impiego delle simulazioni come strumenti di indagine. Si pensi alle previsioni meteorologiche ottenute in simulazione e non sempre attendibili o alle simulazioni basate su modelli matematici per lo studio di fenomeni finanziari non sempre in grado di fare previsioni efficaci, come la recente crisi finanziaria ha dimostrato.

Ragionare in una prospettiva fallibilista non significa rinunciare a domandarsi dell'efficacia di tali procedure, ma riconoscere che non ci può essere alcuna garanzia definitiva relativamente alla correttezza di questi risultati; anche quando tali strategie siano correttamente applicate, i risultati delle simulazioni potrebbero in seguito rivelarsi scorretti. Sarebbe semplicistico pensare che nella scienza si possano sempre avere risposte chiare e distinte, e soprattutto definitive. Pensiamo alle simulazioni e al problema della validazione dei loro risultati: in alcuni casi possono esserci dati empirici, ma non essere completi; in altri casi gli scenari teorici possono essere in via di definizione e i risultati delle simulazioni possono contribuire a dargli una forma più definitiva. Alla domanda che dà il titolo a questo paragrafo "Abbiamo delle buone ragioni per fidarci delle simulazioni?" possiamo rispondere "Dipende", intendendo con ciò affermare che risposte generali e universalmente valide non possono essere date e che, invece, è necessario valutare caso per caso, sulla base delle strategie che abbiamo delineato, le risposte più opportune a questa domanda.

5. DISCUSSIONE

La trattazione che abbiamo proposto è ben lungi dall'aver esaurito l'argomento dell'uso delle simulazioni come esperimenti, così come la discussione sulle strategie più consone alla validazione dei loro risultati. Riteniamo, tuttavia, di aver fatto chiarezza su alcuni termini del dibattito, lasciando il lettore non con una soluzione definitiva, ma con una serie di spunti per la riflessione. Per concludere la nostra analisi proponiamo ora qualche considerazione sull'informatica come scienza al servizio delle altre scienze.

Da un punto di vista filosofico, l'informatica è diventata un oggetto di indagine solo negli ultimi anni, quando si è cominciato a pensare sistematicamente al suo status disciplinare (scienza/ingegneria) nel contesto di un nuovo ambito di ricerca denominato *filosofia dell'informatica*. All'interno del dibattito sulla scientificità dell'informatica, un punto focale sembra oggi essere rappresentato dall'analisi del ruolo degli esperimenti in questa disciplina, dato che è proprio l'aggettivo sperimentale a definire in molti casi l'attività scientifica stessa. Il dibattito sul ruolo degli esperimenti nell'informatica può essere inteso secondo due prospettive differenti. La prima è una prospettiva metodologica che ha a che fare con il modo in cui la pratica sperimentale è condotta nell'informatica. Qui possiamo osservare diversi modi in cui il concetto di esperimento è inteso e applicato: dall'ambito degli algoritmi in cui il termine esperimento si ispira al modo in cui esso è concepito nelle scienze naturali tradizionali (Johnson 2002), fino a quello della robotica mobile autonoma che solo recentemente ha riconosciuto la necessità di un dibattito sistematico su tali temi allo scopo di muoversi verso una metodologia sperimentale più rigorosa (Amigoni *et al.* 2009). La seconda prospettiva è epistemologica e concerne il modo in cui strumenti prodotti in seno all'informatica possono essere legittimamente impiegati per fare esperimenti in altri ambiti scientifici (per esempio in fisica, chimica, biologia).

Sebbene sia la prima delle due prospettive a coinvolgere in maniera più diretta il dibattito sulla natura dell'informatica, ci sembra tuttavia che, anche a partire dalla seconda delle due prospettive che è quella che abbiamo affrontato in questo lavoro, possano emergere alcune riflessioni interessanti che illuminano un aspetto dell'informatica oggi molto diffuso ma poco teorizzato: il suo ruolo di scienza al servizio delle altre scienze. Concepire strumenti, come ad esempio le *computer simulations*, adatti a condurre esperimenti in altre discipline scientifiche non è infatti solo un modo per ampliare costantemente gli ambiti di applicazione dell'informatica, ma costringe a riflettere criticamente sui suoi metodi, i suoi usi e le sue potenzialità trasformando problemi pratici in riflessioni teoriche che portano ad ampliare e rinnovare la visione

tradizionale dell'informatica, nonché a riconoscere i suoi intimi legami, da un lato, con diverse discipline scientifiche e, dall'altro, con la riflessione filosofica.

Ringraziamenti

Ringrazio Francesco Amigoni e Davide Mazza per la discussione di molte delle idee contenute in questo lavoro. Desidero, inoltre, ringraziare Chiara Francalanci che, con grande apertura mentale e curiosità, mi ha invitato a scriverlo, nonché l'anonimo revisore per i preziosi consigli che mi ha fornito.

Bibliografia

- [1] Amigoni F., Reggiani M., Schiaffonati V.: An insightful comparison between experiments in mobile robotics and in science. *Autonomous Robots*, Vol. 27, 2009, p. 313-325.
- [2] Barberousse A., Franceschelli S., Imbert C.: Computer simulations as experiments. *Synthese*, Vol. 169, 2009, p. 557-574.
- [3] Desmeulles G. et al.: The virtual reality applied to biology understanding: The in vitro experimentation. *Expert Systems with Applications*, Vol. 30, n. 1, 2005, p. 82-92.
- [4] Fisher J., Bodenstein L.: Computer simulation analysis of normal and abnormal development of the mammalian diaphragm. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 3, 9, 2006.
- [5] Fox Keller E.: Models, Simulation, and 'Computer Experiments'. In: Radder H. (a cura di) *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh University Press, 2003, p. 198-215.
- [6] Frigg R., Hartmann S.: *Models in science*. In: Zalta, E. N. (a cura di) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edizione estate 2009.
- [7] Hacking I.: *Representing and Intervening*. Cambridge University Press, 1983.
- [8] Hartmann S.: *The world as a process: simulations in the natural and social sciences*. In: Hegselmann, R. et al. (a cura di) *Simulation and Modelling in the Social Sciences from the Philosophy of Science point of view*. Theory and Decision Library, Kluwer, 1996, p. 77-100.
- [9] Holcombe M.: Delving beneath the skin. *Ercim News*, Vol. 67, 2007, p. 48-49.
- [10] Humphreys P.: *Extending Ourselves. Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. Oxford University Press, 2004.
- [11] Kitcher P.: Real Realism: The Galileian Strategy. *Philosophical Review*, Vol. 110, 2001, p. 151-197.

- 0
-
- [12] Johnson D.: *A theoretician's guide to experimental analysis of algorithms*. In: Goldwasser M.H., Johnson D., McGeoch C. (a cura di): *Data Structures, Near Neighbor Searches, and Methodology: Fifth and Sixth DIMACS Implementation Challenges*. American Mathematical Society, 2002, p. 215-250.
- [13] Lenhard J.: Computer simulation: the cooperation between experimenting and modeling. *Philosophy of Science*, Vol. 74, 2007, p. 176-194.
- [14] Naylor T. H.: *Computer Simulation Techniques*. John Wiley, 1966.
- [15] Querrec G., Rodin V., Abgrall J.F., Kerdelo S., Tisseau J.: *Uses of multi-agents systems for simulation of mapk pathway*. Proceedings of the Third IEEE Symposium on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE03), 2003, p. 421-425.
- [16] Rohrllich F.: *Computer simulation in the physical sciences*. In: Fine A., Forbes M., Wessels L. (a cura di), Proceedings of the 1990 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, 1991, p. 145-163.
- [17] Simpson J.: *Simulations are not models*. Presentato a Models and Simulations Conference 1, 2006.
- [18] Sun T., et al.: Agent based modeling helps in understanding the rules by which fibroblasts support keratinocyte colony formation. *PLoS ONE*, Vol. 3, n. 5, 2008.
- [19] Winsberg E.: Sanctioning models: the epistemology of simulation. *Science in Context*, Vol. 12, 1999, p. 275-292.
- [20] Winsberg E.: Models of success vs. success of models: Reliability without truth. *Synthese*, Vol. 152, n. 1, 2006, p. 1-19.

Questo articolo costituisce una introduzione epistemologica alla computer simulation.

Il tema verrà trattato in dettaglio, nei suoi aspetti tecnici e applicativi, nei prossimi numeri della rivista.

VIOLA SCHIAFFONATI si è laureata in Filosofia presso l'Università degli Studi di Milano e ha conseguito il dottorato di ricerca in Filosofia della Scienza presso l'Università di Genova. Visiting scholar presso il Department of Philosophy della University of California at Berkeley durante l'anno accademico 2000/2001 e visiting researcher presso il Suppes Center for the Interdisciplinary Study of Science and Technology della Stanford University nel 2005. Attualmente è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano e docente a contratto della Facoltà di Ingegneria dei Sistemi e della Facoltà di Ingegneria dell'Informazione del Politecnico di Milano. Dal 1999 è membro del laboratorio di Intelligenza Artificiale e Robotica del Politecnico di Milano. I suoi interessi di ricerca riguardano i fondamenti dell'intelligenza artificiale e la filosofia dell'informatica, con particolare attenzione alle problematiche filosofiche della computational science e all'epistemologia dell'esperimento.
E-mail: schiaffo@elet.polimi.it