

CAPITOLO I – IL METODO SCIENTIFICO

Lo studio dell'ambiente presenta alcune peculiarità per le quali è opportuno riconsiderare il metodo scientifico nella forma che viene normalmente utilizzata dai ricercatori delle discipline classiche. Le revisioni da considerare riguardano gli strumenti e le modalità di lavoro per rendere riproducibili i dati raccolti su fenomeni che non possono ripetersi né possono essere ricostruiti in laboratorio.

La difficoltà a sviluppare nuovi metodi rispetto alla facilità di fare misure ha condizionato le *ricerche in campo*, che per molto tempo sono state condotte sulla falsa riga di quelle di laboratorio ipotizzando che *lisimetri, parcelle di campo, modelli fisici in scala e nicchie ecologiche* fossero sufficienti a surrogare l'ambiente. Di fatto la riproducibilità degli esperimenti, che è richiesta dall'approccio scientifico alla conoscenza, è ben altra cosa perché i fattori dell'ambiente sono tali e tanti che non possono essere tutti coscientemente contemplati quando si realizza un simulacro della natura o di una sua parte. In quest'ottica, anche le misure dirette devono essere guidate dagli obiettivi che si vogliono raggiungere, soprattutto perché il modo di effettuare i campionamenti non è indipendente dalla conoscenza che si cerca di acquisire. Non si tratta di partire con preconcetti, ma con piani di lavoro programmati per verificare o negare un'idea predefinita.

Con lo scopo di porre delle domande nella direzione abbozzata e di impostare adeguate risposte, vengono nel seguito esaminati e schematizzati i processi della conoscenza usuale e della conoscenza scientifica in modo da stabilire i passaggi che caratterizzano e distinguono le due modalità di conoscere. Inoltre, partendo dalla classificazione delle scienze si introduce una nuova categoria di «scienze della natura», quella delle scienze ambientali appunto, che per definizione deve operare con esperimenti e misure effettuate direttamente nell'ambiente senza perturbarne i funzionamenti. Questa caratteristica richiede che le scienze ambientali siano multidisciplinari e che adottino metodi di verifica scientifica basati sulla riproducibilità modellistica degli eventi i quali, per loro natura, non sono né riproducibili né ripetitivi: troppi sono i fattori che li determinano perché si possano riprodurre fedelmente o perché si ripresentino con le stesse modalità.

Queste considerazioni contengono implicazioni molto importanti relativamente alla didattica, formazione, informazione ed educazione ambientale, che verranno valutate partendo dai significati attribuiti ai singoli termini da vocabolari consultabili per via informatica.

Saranno anche analizzati i risvolti di politica ambientale e quelli legati alle valutazioni di impatto. A questo riguardo saranno discusse espressioni di dominio pubblico usate con modalità equivoche, spesso alimentate ad arte, come: “sviluppo sostenibile”, “educazione ambientale”, “ripristino ambientale”, ed altre ancora.

Infine, volendo completare questa introduzione con un cenno storico, si ricorda che nel passato la scienza è stata onnicomprensiva del sapere ed i filosofi ne furono i detentori, come del resto, nelle comunità primitive, lo sono ancora gli stregoni e i saggi. Galileo coltivava, come pure i suoi colleghi contemporanei, una vasta gamma di interessi e solo nel secolo scorso il sapere si è specializzato in settori: fisica, matematica, chimica, medicina, ecc.. La specializzazione ha caratterizzato tutto il XX° Secolo e la sua applicazione, talvolta esagerata, ha dato il destro al paradosso secondo cui lo specialista, approfondendo sempre di più un settore sempre più ristretto, finisce per sapere tutto di nulla. La specializzazione e l'applicazione ad oltranza di criteri *riduzionisti*⁽¹⁾ hanno talvolta sviato la lettura dei dati sperimentali e creato difficoltà di comunicazione fra le discipline. Bisogna arrivare alla scoperta del “*caos*” effettuata nel 1962 da un meteorologo del MIT (Massachusetts Institute of

⁽¹⁾ Con il termine *riduzionismo* si indica un indirizzo epistemologico che traduce teorie, concetti e linguaggi di una disciplina in quelli di un'altra ed implica la possibilità di scomporre i fenomeni in processi componenti. Nel presente contesto il termine è usato in contrapposizione al termine “olismo”.

Technology), per valutare i limiti del metodo *riduzionista* chiaramente espressi dall'*effetto farfalla*, per il quale il battito delle ali di una farfalla in Brasile potrebbe scatenare (ed equivalentemente anche inibire) un uragano in Texas: ovvero cause anche di lievissima entità possono produrre effetti vastissimi. Spesso l'effetto farfalla viene interpretato in senso negativo (piccole cause possono produrre catastrofi), ma vale anche un'interpretazione ottimistica per la quale piccole cause possono evitare catastrofi.

Per stabilire i significati dell'ambiente in chiave scientifica è utile riprendere criteri e metodi in uso con successo nelle varie discipline cercando di ridefinirli nella prospettiva dei nuovi problemi, che hanno la peculiarità di essere interdisciplinari, multiscala e dinamici. L'interpretazione dei fenomeni va riconsiderata, cercando di superare i settorialismi e le barriere linguistiche delle singole discipline, ricorrendo anche ad esemplificazioni paradossali.

1.1. – Metodo scientifico

Il termine “scienza” indica il sapere inteso come insieme organico di conoscenze correlate in modo logico. Si riferisce ad un tipo di conoscenza che ha in sé il metodo per verificare gli enunciati in modo da garantire la propria validità. Come tale, la *scienza* rappresenta il grado massimo della certezza ed è l'opposto dell'*opinione* che, invece, caratterizza l'assenza di garanzie. Le componenti metodologiche fondamentali della scienza sono: la *deduzione* che, partendo da principi (postulati o assiomi), sviluppa proposizioni consistenti fino anche a costituire l'intero apparato della disciplina (come nel caso delle scienze formali: logica, matematica e geometria) e la *tassonomia*, che costituisce la componente sistematica (classificatoria e descrittiva) necessaria e preliminare per tutte le discipline scientifiche.



Fig.1.1 – Schema di processo cognitivo semplice (opinione).

Una *metodologia* è l'insieme dei protocolli (norme e tecniche) di ricerca di cui si avvale una disciplina. Ogni metodologia per essere *scientifica* deve comprendere una fase tassonomica ed una fase logica di deduzione. La prima stabilisce il vocabolario sul quale opera la componente logica.

Si osservi che una teoria scientifica non pretende mai di fornire «verità» di alcun tipo, ma solo affermazioni valide «fino a prova contraria». In altre parole, per quanto sia grande il numero di conferme a supporto di una teoria, la prossima verifica potrebbe smentirla e la prima smentita la invalida. Se una teoria fallisce una prova si cambiano i principi di partenza della teoria, cioè si costruisce una nuova teoria avviando un processo che non ha mai fine, perché la scienza non approda mai (né lo pretende) a «verità ultime». È questa la vera forza del metodo, che richiede alla ricerca di considerare le falsificazioni di una teoria e non le conferme. Anzi una teoria per essere scientifica deve comprendere gli strumenti per la sua falsificazione. In caso contrario non ha gli attributi per essere scientifica. Un esempio è l'«Ipotesi Gaia» (Lovelock, 1979) che attribuiva alla Terra (Gaia era il nome dato dai greci alla Dea Terra) capacità omeostatiche⁽²⁾ analoghe a quelle degli organismi viventi.

In ogni caso non si deve temere il pericolo di un «pensiero unico», perché il metodo ammette smentite. Inoltre, il criterio di falsificabilità inibisce le valutazioni statistiche perché il numero delle prove favorevoli non misura la probabilità che una teoria sia «valida» (basta una sola smentita per renderla «non valida»). Ovviamente il discorso vale anche per il consenso: il numero degli scienziati favorevoli ad una teoria non costituisce prova di validità (vedi ad

⁽²⁾ L'*omeostasi* è la condizione di stabilità interna degli organismi, che si mantiene anche al variare delle condizioni esterne attraverso meccanismi di autoregolazione.

esempio il dibattito attualmente in corso sul «Climate Change» - per un approfondimento: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/306/5702/1686> . Tra l'altro si ricorda che il «pari merito» si risolve a favore della teoria più semplice (Rasoio di Occam).

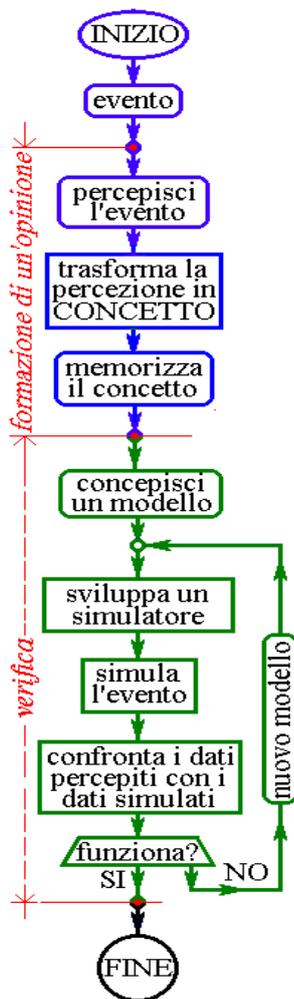


Fig.1.2. - Schema logico del metodo scientifico.

1.2. – Uno schema procedurale

La *conoscenza* dell'uomo deriva delle sue capacità di “rendere concettuali” le proprie osservazioni attraverso processi cognitivi del tipo schematizzato in fig.1.1. La *conoscenza scientifica* costituisce una parte della conoscenza umana e si ottiene completando il processo di fig.1.1 con l'introduzione di un ciclo di verifica (fig.1.2). Le verifiche si possono effettuare solo potendo disporre di simulatori⁽³⁾ che permettano di riprodurre gli oggetti ed i comportamenti da verificare. Si noti come anche il metodo scientifico non possa prescindere dalla fase soggettiva compresa nell'operazione di concettualizzazione propria dello schema di fig.1.1.

Per quanto riguarda i dati è bene tener presente che essi non derivano necessariamente da operazioni di misura (dati sperimentali), ma possono essere anche prodotti da operazioni concettuali (dati teorici, simulazioni, stime, ecc.) ed essere anche qualitativi.

Naturalmente, solo se le osservazioni di partenza sono quantitative si può raggiungere una conoscenza quantitativa, altrimenti il risultato sarà qualitativo. Un esempio di dati concettuali che hanno prodotto una teoria importante è il caso della «Relatività Ristretta» di Einstein. All'epoca in cui Einstein era giovane, la fisica come disciplina era divisa in due branche: la meccanica e l'elettrodinamica. Le leggi fondamentali dei due settori erano rispettivamente l'Equazione di Newton e le Equazioni di Maxwell. Entrambe le teorie sembravano funzionare perfettamente se non fosse stato che, passando da un sistema di

riferimento ad un altro in moto uniforme rispetto al primo, le equazioni si trasformano in modo diverso. La meccanica seguiva la relatività di Galileo, mentre le equazioni di Maxwell si trasformavano secondo le «trasformate di Lorentz». Questa situazione creava disagi già da qualche tempo (si pensi ad un sistema meccanico sottoposto a forze elettromagnetiche), fino a quando Einstein propose una nuova formulazione delle leggi della meccanica invariante rispetto alle trasformate di Lorentz. L'operazione (superamento della relatività galileiana tramite la relatività ristretta) risultò convincente (avrebbe potuto apparire contorta e poco utile dato che per basse velocità le due relatività coincidono) soprattutto perché fornì una relazione capace di falsificare la teoria (equivalenza fra massa ed energia: $E=mc^2$) e che finora ha resistito a tutte le verifiche.

⁽³⁾ Dal vocabolario, simulatore è un *dispositivo che permette di ricreare una situazione analoga a quella reale per fare delle prove o misure*.

1.3. – Discipline scientifiche

L'uomo accumula conoscenza basandosi su strumenti, metodi e ritrovati propri della «filosofia», disciplina che studia i principi generali comuni alle varie branche del sapere e del conoscere essendo queste distinte in metafisica⁽⁴⁾, estetica⁽⁵⁾, epistemologia⁽⁶⁾, gnoseologia⁽⁷⁾, etica⁽⁸⁾. La filosofia antica colloca tutta la conoscenza della natura nella «fisica», in contrapposizione alla «metafisica». Ai giorni nostri però la fisica⁽⁹⁾ è diventata una disciplina specifica del sapere scientifico come lo sono la chimica, la biologia, ecc..

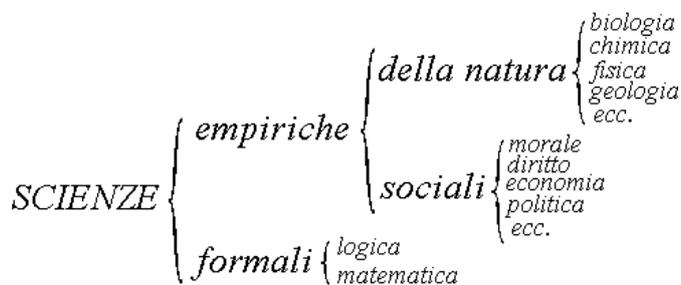


Fig.1.3. – Schema di classificazione delle scienze. Le «Scienze Ambientali» non compaiono nella classifica perché non sono una disciplina ma un metodo.

In effetti il termine «scienza» designa il complesso di tutte le discipline che studiano sistematicamente un campo o un aspetto della realtà, intesa come la totalità degli oggetti dei quali la ragione afferma e giustifica l'esistenza. Già Aristotele aveva stabilito che la scienza non è una semplice raccolta o descrizione di cose ed avvenimenti, ma un sapere organico, fondato sull'esperienza e costruito con la

ragione, che indaga le connessioni tra i fenomeni. Il termine scienza cominciò a contrapporsi a quello di filosofia nel tardo seicento precisando che la scienza deve studiare il come, non il perché dei fenomeni e deve limitarsi a ricercare le leggi di natura, non le spiegazioni ultime della realtà. Progressivamente la scienza ha accentuato sempre più il ricorso all'esperienza come criterio di prova ed alla matematica come strumento logico per esprimere quantitativamente le caratteristiche dei fenomeni e le relazioni fra gli oggetti. Oggi si ritiene che la differenza fra filosofia e scienza riguardi sia gli argomenti di studio, sia le metodologie usate. Alla scienza spettano i problemi generali verificabili sperimentalmente, alla filosofia quelli universali non verificabili.

⁽⁴⁾ La *metafisica* è quella parte della filosofia che studia l'essere in quanto tale ricercandone i principi primi. Il nome deriva da Aristotele che ha trattato l'essenza della realtà collocandola dopo (*meta*) quella della natura (*fisica*). Il prefisso assume poi il significato di "al di là, sopra" e la metafisica divenne la conoscenza assoluta, in grado di fornire i principi generali e universali, sulla base dei quali sviluppare le singole scienze.

⁽⁵⁾ Il termine *estetica* indica la conoscenza delle cose sensibili ed è stato impiegato con riferimento a tutto quello che è *bello*.

⁽⁶⁾ L'*epistemologia* è la disciplina che studia i fondamenti, la natura e i limiti della conoscenza scientifica e si propone di individuare criteri rigorosi per distinguere i giudizi scientifici da quelli di opinione (problemi morali, religiosi, metafisici ecc.).

⁽⁷⁾ La *gnoseologia* è quella parte della filosofia che si occupa del problema della conoscenza, cioè dell'origine, della natura, del valore e dei limiti della nostra facoltà di conoscere, ovvero del rapporto tra la mente umana e la realtà considerata come esterna ed indipendente dal pensiero che la conosce. La gnoseologia si distingue dalla logica che studia invece le norme del pensiero per stabilire i criteri di verità e di errore prescindendo dalla realtà dell'oggetto. La gnoseologia si distingue anche dalla epistemologia che studia i criteri della conoscenza scientifica disinteressandosi della corrispondenza fra fenomeni e realtà in sé.

⁽⁸⁾ L'*etica* ha come oggetto i valori morali che determinano il comportamento dell'uomo. Può essere *descrittiva* se descrive il comportamento umano e *normativa* o *prescrittiva* se fornisce indicazioni.

⁽⁹⁾ La *fisica* indaga i fenomeni naturali accoppiando metodi sperimentali ed elaborazioni matematiche in modo da formulare un sistema di leggi che di tali fenomeni permettano una conoscenza razionale e scientificamente corretta. Si inizia a parlare di fisica nell'accezione attuale a partire dal rinascimento grazie a Galileo ed a Newton. Con l'introduzione di alcuni concetti fondamentali di conservazione e di invarianza, la fisica diventa moderna e si dedica alla unificazione delle leggi della natura attraverso teorie sofisticate che pur allontanandola da altre branche della scienza quali la biologia, l'astronomia ecc., continua a fornire loro un solido supporto teorico ed un valido modello metodologico.

Per quanto riguarda la classificazione delle discipline scientifiche (v. fig.1.3), si distinguono le *scienze formali*, che riguardano la struttura astratta del pensiero o degli elementi numerici (logica⁽¹⁰⁾ e matematica⁽¹¹⁾) da quelle *empiriche* che comprendono le *scienze della natura* (quelle che studiano i fenomeni naturali) e le *scienze sociali* (quelle che studiano i rapporti fra gli uomini: morale, diritto, economia, politica, filologia, ecc.). Rimangono escluse dallo schema le discipline storiche alle quali, però, molti negano la qualifica di scienze.

1.4. – Le Scienze della Natura

Come risulta dallo schema di fig.1.3 le scienze della natura comprendono numerose discipline che si svilupparono con modalità diverse anche se, nell'attuale concezione, vengono tutte riferite a Galileo cui si attribuisce il merito di aver introdotto un metodo di lavoro comune basato sulla sperimentazione. Il metodo scientifico consiste nell'osservare un fenomeno e concettualizzarlo in modo da renderlo riproducibile. A sua volta, la riproducibilità richiede che si realizzi un modello operativo del fenomeno con il quale chiunque possa verificare le osservazioni effettuate. La verifica si effettua come in fig.1.2 inserendo un ciclo logico interno (il ciclo disegnato in verde) alle funzioni disegnate in blu, proprie della conoscenza generica descritta in fig.1.1. Conviene in ogni caso osservare come anche il sapere scientifico abbia pur sempre (anche quando si effettuano i cosiddetti *esperimenti pratici*) una componente soggettiva che proviene dalle operazioni, previste dallo schema di fig.1.2, di «percezione dell'evento» e di sviluppo di un modello concettuale dell'evento percepito. In questa ottica, spesso è anche pretenzioso stabilire classifiche di «verità» nei contenuti di lavori condotti con rigore scientifico.

1.5. – Gli eventi

Nella descrizione delle figg.1.1 e 1.2 si parla di eventi e della loro percezione per intendere l'informazione che si riceve su oggetti e fenomeni attraverso i sensi (direttamente o tramite strumenti di misura e di osservazione). La trasformazione della percezione sensoriale in conoscenza avviene tramite trasferimento della sensazione al pensiero: ne consegue prima una concettualizzazione (ovvero lo sviluppo di un'opinione) e poi una modellizzazione, finalizzata a renderla oggettiva. Si tenga presente che la percezione implica sempre una manipolazione soggettiva, anche la proiezione induttiva (fase dalla quale si riparte dopo aver rigettato una teoria) è preconcetta e permette solo di formulare nuove opinioni.

La percezione di un evento avviene tramite un «modello mentale» dell'evento che riporta necessariamente valutazioni personali. Queste, siano esse di tipo qualitativo o quantitativo,

⁽¹⁰⁾ La *logica*, talvolta definita come la «*scienza delle leggi del pensiero*», sviluppa le regole del linguaggio scientifico e studia i metodi e i principi che consentono di distinguere, nelle loro strutture formali, i ragionamenti corretti da quelli scorretti. L'esigenza di precisare i significati dei termini del linguaggio e le regole del ragionamento nasce nella filosofia greca quando alcuni sofisti mostrarono come molti paradossi si sarebbero potuti evitare usando parole non equivocate. Si deve ad Aristotele (che esaminò i concetti, le categorie, le proposizioni, i termini e i sillogismi) la prima formulazione della logica come scienza indipendente. Cartesio cercò di stabilire se il rigore tipico di un discorso matematico potesse essere alla base di qualsiasi sapere, compreso quello filosofico. Leibniz e i suoi seguaci cercarono di unificare il complesso delle strutture logiche in un linguaggio scientifico universale (logica simbolica). Nella seconda metà del XIX secolo la logica tornò a studiare gli aspetti formali del linguaggio (*logica formale*) portando alla creazione della logica matematica. È fondamentale la consapevolezza (presente già in Aristotele) della distinzione tra logica e gnoseologia. La prima infatti riguarda i modi e le forme del ragionamento mentre la seconda studia ciò su cui si ragiona.

⁽¹¹⁾ La *matematica* è nata nell'antichità come scienza cognitiva legata ai numeri (aritmetica) ed alle figure (geometria). I greci ne fecero una scienza deduttiva, costruendo un sistema di assiomi sulla base dei quali studiare le varie entità cui essa era applicata. Da scienza delle entità numeriche e geometriche si è trasformata in logica (*logica matematica*) grazie a Boole ed a De Morgan che formalizzarono il simbolismo e il sistema di calcolo studiati due secoli prima da Leibniz. Intesa come applicazione al ragionamento, è stata approfondita da Peano, Russell ed altri.

diventano verificabili solo quando vengono inserite in un modello «esportabile». Per effettuare un tale passaggio è necessario costruire un vocabolario specifico (fase tassonomica) al fine di stabilire uno strumento di confronto tramite il quale comunicare ad altri le proprie percezioni ed effettuare operazioni logiche condivise. Solo allora si potrà dire che «un oggetto è un tavolo» (modello esportabile) perché la parola tavolo avrà un significato (tassonomia) che sarà indipendentemente dalle sue dimensioni. È immediato osservare che descrivendo un tavolo si possono fornire attributi qualitativi (ad esempio è di legno) ed attributi quantitativi (è lungo due metri). Questi attributi vengono indicati con il termine di «dati» ed acquistano una connotazione scientifica solo se vengono precisati in ordine al metodo di acquisizione: ad esempio la natura lignea del tavolo potrebbe non essere certa se l'osservazione è fatta da lontano e la lunghezza potrebbe essere diversa se misurata con un calibro o con un metro. Il corredo di queste precisazioni costituisce il «metadato» del dato «tavolo di legno lungo due metri». In altre parole i dati sono le informazioni relative all'oggetto e i metadati sono le informazioni relative ai dati, che servono sia a darne una collocazione spaziale e temporale, sia a specificarne il grado di accuratezza e di precisione.

1.6. – Modelli e simulatori

Nello schema di fig.1.2 sono stati utilizzati due termini, *modello* e *simulatore*, con significati che è opportuno precisare anche perché nel linguaggio comune vengono spesso accreditati di accezioni discoste da quelle dell'attuale contesto.

Ad esempio, il vocabolario Garzanti (www.garzanti.it) alle voci modello, simulatore ed altre ad esse collegate riporta i significati che seguono:

- *simulàre*, v. tr. - **1** manifestare sentimenti insinceri: *simulare amicizia, interesse per qualcuno* | mostrare ciò che non si ha, cercare di far credere qualcosa che non è: *simulare la pazzia*, **2** (*estens.*) imitare: *simulare il canto degli uccelli*, **3** (*scient.*) riprodurre artificialmente le condizioni in cui si svolge un processo o un fenomeno, per studiarne e verificarne gli effetti: *simulare il volo spaziale*.
- *simulatóre*, sm. - **1** [f. *-trice*] chi simula, **2** (*tecn.*) sistema o impianto per la simulazione sperimentale: *simulatore di volo*.
- *emulàre*, v. tr. - cercare di uguagliare o di superare qualcuno in azioni lodevoli o in virtù: *emulare il valore, l'eroismo di un amico; emulare i propri maestri* || In usi ant. o lett. può essere *intr.* [aus. *avere*] ed è seguito dal compl. di termine: *Firenze... volendo emulare a Torino e a Venezia si prepara a ricevere solennemente il Re* (DE SANCTIS).
- *imitàre*, v. tr. - **1** prendere a esempio, seguire come modello qualcuno, in generale o in qualche sua caratteristica o espressione specifica: *imitare un artista; un allievo che imita il maestro; molti poeti rinascimentali imitarono lo stile del Tetrarca*; **2** copiare, riprodurre nel modo che più si approssima all'originale: *la scimmia imita i gesti dell'uomo; imitare le voci; imitare la firma di qualcuno, contraffarla*; **3** detto di cosa, essere d'aspetto simile a un'altra: *plastica che imita la pelle; un minerale che imita l'ambra*.
- *modellàre*, v. - v. tr. **1** dare forma a qualcosa, utilizzando l'argilla o un altro materiale plastico: *modellare una statua, un volto di cera* | (*estens.*) dar forma sagomando; far risaltare una forma o delle forme: *modellare un cappello; un vestito che modella la figura*; **2** (*fig.*) formare, elaborare ispirandosi o riferendosi a un modello: *modellare il proprio stile su quello dei classici*
- *modèllo*, sm. - **1** ogni cosa o persona ritenuta esemplare e, come tale, degna di essere imitata: *una donna che è stata un modello di saggezza; il Partenone è un modello di architettura classica*; **2** originale da riprodurre, a cui conformarsi: *copiare, seguire un modello; prendere, avere, tenere, proporre a modello* ' in partic., oggetto o persona che un artista, un artigiano intende riprodurre: *lo scultore prese come modello un vecchio*; **3** uomo che per professione posa per pittori, scultori; uomo che posa per fotografie indossando capi di abbigliamento; indossatore; **4** prototipo industriale; per *estens.*, oggetto prodotto in serie che riproduce un prototipo industriale: *inventare un nuovo modello di sedia pieghevole; produrre un nuovo modello di utilitaria; comprare l'ultimo modello di lavatrice* | in sartoria, esemplare originale in carta sul quale si conduce il taglio del tessuto di un abito;

cartamodello | in fonderia forma, per lo più in legno, che serve per ricavare lo stampo destinato ad accogliere il metallo fuso; **5** abito confezionato in un solo esemplare secondo un disegno originale; per estens., il disegno, la linea di un abito o d'un altro capo d'abbigliamento: *sfilata di modelli; un modello esclusivo; un bel modello di scarpe*; **6** riproduzione tridimensionale in scala ridotta di un oggetto o di una struttura | realizzazione in scala ridotta di qualcosa che si intende costruire, nella realtà per lo più a scopo sperimentale o di studio; plastico: *un modello in legno, in creta, in gesso*. DIM. *Modellino*; **7** (*burocr.*) modulo; **8** in logica matematica, ogni interpretazione che, assegnato un significato a ciascun simbolo di un linguaggio formale, rende vere tutte le formule del linguaggio; **9** (*scient.*) schema teorico che descrive un fenomeno o un insieme di fenomeni mettendone in evidenza le caratteristiche strutturali ritenute più rilevanti: *modello dell'atomo, del cervello; modello matematico*, insieme di equazioni che descrivono in modo semplificato le relazioni ipotizzate tra una serie di fenomeni, allo scopo di spiegarne o prevederne lo svolgimento || In funzione di *agg. invar.* riferito a persona, che è degno di essere preso a esempio: *scolaro, impiegata modello* | detto di struttura o di attività, realizzazione che è perfettamente funzionale, razionale, così da costituire un esempio da imitare nel suo genere: *un ospedale, un ufficio modello*.

Il quadro dovrebbe essere sufficiente per rendere ragione della preoccupazione espressa nei confronti di possibili lacune di chiarezza e dell'utilità di alcune precisazioni. In particolare, risalta la varietà dei significati e le parziali sovrapposizioni di alcune voci, il cui uso in funzione di sinonimi può produrre confusione. Inoltre, l'idea che solo la matematica e la fisica usino "modelli teorici" per studiare oggetti ed eventi reali è fuorviante. Infatti, una qualsiasi conoscenza umana e non (anche gli animali conoscono ed accumulano conoscenza) richiede astrazioni. La fig.1 schematizza appunto il fatto che per conoscere non assimiliamo l'oggetto ma solo sue astrazioni concettuali.

Comunque, qualora tutto ciò non bastasse a convincerci dell'opportunità di precisare questi concetti si rimanda alle stesse voci del "glossario" della *Enciclopedia Rizzoli Larousse 2001* della - *RCS Libri S.P.A.*, oppure alla *Linkopedia Utet* (URL: <http://www.piazzadante.it/>), tutti strumenti importantissimi, ma che per il caso specifico difettano per eccesso di semplificazione e per carenza di precisione.

Con l'intento di ridurre gli equivoci, nel presente contesto si useranno i seguenti significati: (i) modello, ogni "strumento" in grado di rappresentare un evento e (ii) simulatore, ogni "strumento" in grado di riprodurre eventi, cioè di rappresentarli in modo verificabile. In altre parole, il termine modello ha l'accezione più generale potendo rappresentare un evento anche in modo opinabile (come nel caso delle concettualizzazioni previste in fig.1 e nella prima fase di fig.1.2), mentre il termine simulatore si riferisce a modelli verificabili. Ovvero, un simulatore è sempre un modello, ma non viceversa.

Un esempio che può dare un'idea della generalità dei termini e caratterizza in modo paradossale il concetto di simulazione fornendo anche una nota frivola al discorso, è un film distribuito negli USA nel 1947 con il titolo di "*Magic Town*". Il film narra la storia di un opinionista, Rip Smit (interpretato da James Stewart) che scopre un «miracolo matematico» in una cittadina chiamata Grandview: la comunità di Grandview pensa esattamente come l'intera comunità USA. Smith ed un suo compare usano Grandview come modello comportamentale degli USA. Il film, depurato delle vicende accessorie, ricorda che cercare un modello equivale a cercare Grandview. Non importa se la cittadina ha le sembianze di un marchingegno di laboratorio (modello fisico) o di un algoritmo⁽¹²⁾ (modello formale) purché emuli il sistema da studiare.

A completamento di quanto detto si osserva che la simulazione di un ambiente e dei suoi comportamenti si effettua con l'obiettivo di interpretare e/o prevedere. Non sempre però

⁽¹²⁾ Insieme di regole e procedure di calcolo che permettono di risolvere un problema con un numero finito di operazioni; il nome deriva da quello del matematico arabo al-Khuwarizmi (IX sec.) (da: <http://www.proleve.it>).

l'interpretazione e la previsione si effettuano con lo stesso strumento. In particolare, per interpretare un processo è sempre necessario collegare le cause con gli effetti e ciò si raggiunge: (i) sempre con i simulatori deterministici, che stabiliscono nessi certi fra le variabili (dipendenti e indipendenti) e (ii) non sempre con i simulatori stocastici, che stabiliscono invece nessi statistici. D'altra parte i simulatori deterministici non sono in grado di tener conto delle componenti casuali (fluttuanti) sempre presenti nei processi ambientali. Per questo i simulatori deterministici e quelli stocastici spesso sono complementari gli uni agli altri e non si possono classificare in contrapposizione fra loro, esistendo simulatori buoni e cattivi sia nella categoria di quelli deterministici che in quella dei simulatori stocastici.

1.7. – Il metodo scientifico nelle discipline classiche

Il metodo scientifico può essere applicato con diverse modalità perché il simulazione degli eventi percepiti (la fase di verifica riportata in fig.1.2), può essere effettuata con modelli diversi. Nel caso delle discipline classiche i simulatori sono modelli fisici, cioè apparati (generalmente di laboratorio) che rendono il fenomeno allo studio riproducibile anche da terzi. Emblematiche al riguardo le vicende della « *fusione fredda* » quando, in una famosa conferenza tenuta il 23 marzo 1989, Martin Fleischmann e Stanley Pons (Università dello Utah) annunciarono di aver ottenuto significative quantità di energia usando una cella elettrolitica a temperatura ambiente. L'annuncio ebbe grande rilievo sui *media* , ma, soprattutto, mise in agitazione il mondo scientifico che stigmatizzò l'evento o sperò nella conclusione della sfida energetica, la maggiore fra quelle attuali⁽¹³⁾. Purtroppo il processo non è mai stato riprodotto e quindi oggi si dubita della sua realizzabilità anche se poggia su basi non del tutto peregrine. Ora non si mettono in discussione le capacità di Fleischmann e Pons, ma la loro affidabilità scientifica per aver voluto annunciare un risultato non ancora verificato. La vicenda mostra anche come il metodo scientifico abbia in sé gli strumenti per la certificazione dei propri risultati e garantisca una ragionevole oggettività delle osservazioni. A questo proposito è interessante notare che, come già osservato, anche la conoscenza scientifica è mediata da operazioni soggettive, ma che il metodo permette di contenere entro limiti ragionevoli gli aspetti negativi di aleatorietà. In altre parole, ogni osservazione ha un contenuto informativo che va a beneficio solo di chi l'ha effettuata quando questi la fornisca senza produrre tutte le notizie necessarie per verificarla. L'insieme di queste notizie viene indicato con il termine di *metadati* che costituiscono un accessorio del dato (il dato esiste anche senza i suoi metadati), ma ne fornisce la connotazione scientifica. Inoltre, i dati possono essere confrontati solo se i relativi metadati lo consentono e quindi ogni operazione con essi, a partire da quelle di

⁽¹³⁾ In campo nucleare la *fusione* è una reazione fra nuclei di Deuterio (isotopo, D, dell'Idrogeno, H) che forma nuclei di Elio (He). Si ottiene con urti ad alta temperatura e produce grandi quantità di energia residua. La *fusione fredda* è la stessa reazione realizzata a temperatura ambiente producendo le stesse quantità di energia residua e dovrebbe avvenire fra nuclei di deuterio dispersi in un solido. L'idea della fusione fredda ha le sue radici in ricerche degli anni '20 e si basa sull'ipotesi che gli atomi di idrogeno e dei suoi isotopi (Deuterio e Tritio) possano permeare particolari strutture solide fino a raggiungere concentrazioni tanto elevate da far sì che i loro nuclei si avvicinino l'un l'altro più di quanto previsto per la loro fase solida. L'addensamento sarebbe anche favorito dal fatto che le cariche elettriche negative degli elettroni del solido ospite sopprimerebbero parzialmente la repulsione fra i nuclei. Gli esperimenti del passato non rilevarono alcun segno di fusione e moderni calcoli mostrerebbero che gli effetti proposti se ci fossero risulterebbero comunque troppo piccoli per essere misurabili. Tuttavia, alla fine del secolo scorso, l'elettrochimico Martin Fleischmann ed il fisico Stanley Pons decisero di rivisitare la fusione fredda facendo passare corrente elettrica in una cella elettrolitica costituita da un catodo di Palladio (Pd), da un anodo di Platino (Pt) e da un elettrolita di LiOD (un composto di Litio, Ossigeno e Deuterio) in acqua pesante (acqua contenente Deuterio al posto di Idrogeno). La reazione catodica libererebbe atomi di Deuterio che entrerebbero nel Palladio molto più rapidamente delle molecole di Deuterio. In condizioni appropriate la concentrazione arriverebbe e supererebbe 0,9 atomi di Deuterio per atomo di Palladio e la perdita di Deuterio sarebbe bilanciata dalla velocità con la quale il Deuterio entra nel Palladio. Le celle elettrolitiche di Pons e Fleischmann erano parte di un calorimetro (apparecchio che misura il calore) la cui temperatura sarebbe aumentata in alcune occasioni indicando una produzione termica netta dell'ordine del 10% rispetto alla potenza elettrica consumata per alimentare la cella. Fleischmann e Pons pensarono anche di aver misurato radiazione gamma emessa da neutroni rallentati dall'acqua. Ma questi risultati sono stati successivamente ritrattati.

relazione (maggiore, uguale e minore), è possibile solo dopo averne valutato le caratteristiche, ovvero i metadati. E ogni considerazione sulla qualità di una qualsiasi informazione (in termini di accuratezza e precisione) è demandata alla qualità dei suoi metadati. Infine, si deve tener presente che, in generale, il giudizio sul contenuto informativo di un dato scientifico compete solo all'utente (non al produttore) al quale spetta decidere se quel dato è coerente con il particolare contesto nel quale intende utilizzarlo. Per non rimanere nel vago, la lunghezza di un tavolo ottenuta con il metro o a spanne può avere lo stesso contenuto informativo se si deve decidere sulle dimensioni della tovaglia da usare per imbandirlo ed un contenuto diverso se lo si deve far passare per una porta.

1.8. – Il metodo scientifico nelle scienze ambientali

È ambientale ogni disciplina che basa la sua conoscenza su osservazioni raccolte direttamente nell'ambiente e lo fa senza perturbarlo. Le discipline classiche si distinguono da

TIPOLOGIE DEL METODO SCIENTIFICO		SIMULATORI	
		FISICI	FORMALI
EVENTI	ARTIFICIALI	SCI. CL.	SCI. CL.
	NATURALI	?	SCI. AMB.

Fig. 1.4. - Schema di approcci scientifici applicati a diverse tipologie di eventi.

quelle ambientali perché operano su eventi artificiali che realizzano in laboratorio o isolando (e quindi perturbando) porzioni di eventi naturali (v. ad es. le «nicchie ecologiche» degli ecologi). In fig.1.4 è schematizzata la situazione delle scienze in relazione agli eventi che studiano ed alle verifiche (simulatori) che attuano. Il punto interrogativo di fig.1.4 stigmatizza l'impossibilità di simulare eventi naturali con modelli fisici. Le scienze classiche effettuano le osservazioni realizzando esperimenti in laboratorio (eventi artificiali) e producono le verifiche ripetendo e/o variando gli eventi, eventualmente inquadrando in schemi formali le

informazioni raccolte. Le scienze ambientali trattano eventi naturali che non potendo essere replicati devono essere resi riproducibili con strumenti alternativi alle «repliche». Questi strumenti sono algoritmi che vengono usati come simulatori formali⁽¹⁴⁾. In questo senso le scienze ambientali non sono una disciplina, ma un metodo scientifico e vengono indicate al plurale perché necessariamente multidisciplinari dovendo studiare gli eventi nella completezza della loro struttura fenomenica.

1.9. – Riduzionismo

Il termine «riduzionismo» è utilizzato in [ambiti](#) diversi con attribuzioni di significati divergenti, arrivando anche a intromissioni [teologiche](#). Più vicino ai nostri interessi è lo schema descritto in una raccolta di [schede](#) sui sistemi complessi nella quale si fa riferimento ad un approccio riduzionista ai problemi che consiste nel:

- a) scomporre il sistema in *parti*,
- b) studiare il comportamento di ciascuna *parte*,
- c) ricomporre le *parti* per derivare il comportamento complessivo del sistema.

Il riduzionismo «ha dominato la scienza fino a qualche decennio fa ed ha prodotto notevoli risultati», ma il progredire degli strumenti di calcolo e l'aumentare della difficoltà dei problemi hanno mostrato i limiti dell'approccio. In alcuni casi non è possibile scomporre il problema in processi separati a meno di pesanti semplificazioni. Anzi forse non esistono problemi

⁽¹⁴⁾ L'attributo di «formale» ai termini «simulatore» e «modello» viene in questo contesto usato per indicare schemi che comprendono quelli matematici, ma anche loro generalizzazioni. Più precisamente di solito si tratta di algoritmi implementabili su calcolatore che non sempre possono fregiarsi del titolo di matematico come ad esempio i «sistemi esperti». In altre parole il termine si riferisce allo schema di fig.1.3.

scomponibili e forse non sono tali neppure quelli che sembrano esserlo. In ogni caso, tralasciando considerazioni filosofiche, nell'ultimo mezzo secolo si è scoperta la [complessità](#) che comprende il [Caos](#), le connessioni di [rete](#), l'auto-organizzazione, la [teoria delle catastrofi](#), la [vita artificiale](#), ecc. Del resto, i limiti del riduzionismo dovevano essere risaputi se si pensa che il legame più generale fra una variabile dipendente ed una indipendente si può sviluppare in serie di potenze (legame non lineare fra le due variabili) non appena siano soddisfatte alcune condizioni di sommabilità (ad esempio, sia a quadrato sommabile).

1.10. – Una precisazione sulle verifiche

Spesso la Fisica ha svolto funzioni trainanti nei confronti delle altre discipline soprattutto in ordine alle metodologie ed è proprio alla Fisica che ci si può rivolgere per esemplificare come il pensiero scientifico possa risultare contorto e si aggiusti progressivamente in una sorta di sviluppo per approssimazioni successive. Uno dei *principi*⁽¹⁵⁾ fondamentali della Meccanica (che a sua volta è uno dei capitoli fondamentali della Fisica) è costituito dalla "Legge di Newton" o "Legge d'inerzia" che stabilisce come un *punto materiale*⁽¹⁶⁾ reagisca ad una forza⁽¹⁷⁾, \underline{f} , modificando le sue condizioni di moto in modo proporzionale all'accelerazione, \underline{a} ⁽¹⁸⁾. La costante di proporzionalità, m , è la *massa inerziale* del punto e coincide numericamente con la sua *massa gravitazionale*⁽¹⁹⁾.

In formule tale "Legge"⁽²⁰⁾ si esprime come: $\underline{f} = m\underline{a}$. Ma si deve precisare che non si tratta di una legge, bensì di un principio (ed è quindi indimostrabile) e di un principio che ha avuto un iter tormentato perché, nato estrapolando osservazioni (sperimentali o concettuali) sulla caduta dei gravi (se si potesse escludere l'attrito dell'aria 1 kg di piombo ed 1 kg di piume lasciati cadere da una torre (quella di Pisa?) arriverebbero al suolo nello stesso tempo), fu presto chiaro che la sua validità era condizionata dalle coordinate di riferimento (in un sistema in rotazione, come sono quelli solidali alla Terra, si devono considerare due *forze fittizie*⁽²¹⁾ note col nome di forze centrifughe e forze di Coriolis). Allora si pensò che bastasse riferirsi a "stelle fisse", ma si mostrò poi che le stelle fisse non esistono. Alla fine si concluse di convenire che la "Legge d'inerzia" era valida in un "sistema di coordinate inerziale", a sua volta definito come «ogni sistema di coordinate nel quale vale la Legge di Newton». Questo modo di ragionare richiama il gatto che si morde la coda ed è un esempio di "tautologia", una sorta di discorso autoreferente privo di senso logico. Ma è importante notare come le leggi della Fisica che derivano dal principio d'inerzia, nonostante la base tautologica, funzionino. Questa circostanza porta con sé la necessità di considerare lo schema di fig. 1.2 esteso in modo che la verifica richiesta dal metodo scientifico si possa effettuare su cicli logici più ampi di quelli descritti in fig. 1.2 dove la verifica si chiude sul singolo atto cognitivo.

⁽¹⁵⁾ Un *principio* è una proposizione fondamentale che si assume senza dimostrazione.

⁽¹⁶⁾ Il *punto materiale* è l'astrazione di un corpo fisico, considerato privo di volume, ma dotato di massa.

⁽¹⁷⁾ La *forza* è un'entità fisica di caratteristiche *primitive* (riconducibile a concetti intuitivi) e struttura *vettoriale* (è definita in: *intensità*, *direzione* e *verso*. Solo occasionalmente è necessario precisare un punto di applicazione).

⁽¹⁸⁾ L'*accelerazione* di un punto è la velocità (variazione per unità di tempo) con la quale modifica la propria *velocità spaziale*, \underline{v} (spazio percorso nell'unità di tempo).

⁽¹⁹⁾ Senza entrare nel merito del problema tuttora irrisolto, la *massa inerziale* che si oppone al moto e la *massa gravitazionale* che attrae gli altri corpi sono espresse dallo stesso valore numerico che si ottiene confrontando *forze peso* per mezzo della bilancia.

⁽²⁰⁾ Nelle scienze, una *Legge* è una norma che regola eventi, ovvero, relazione di causa-effetto o di dipendenza fra grandezze che può essere espressa in forma qualitativa o quantitativa. Normalmente è accompagnata dall'indicazione dei limiti di validità e del campo di applicabilità.

⁽²¹⁾ Le *forze fittizie* sono forze non reali che vengono introdotte per conservare la validità della "Legge di Newton"