

Ricerca MO-GLOBAL

I modelli globali di sviluppo: stato dell'arte, analisi metodologica e direttrici di ricerca futura

INTRODUZIONE

I modelli globali - in senso stretto - sono sistemi di equazioni matematiche usati per descrivere i meccanismi di funzionamento economici, sociali, industriali, ambientali del nostro pianeta. Questi sistemi di equazioni vengono introdotti in elaboratori elettronici al fine di controllare che le variabili si comportino effettivamente come le corrispondenti grandezze nel mondo reale e, quindi, di prevedere gli andamenti futuri di queste ultime.

In effetti sono stati compiuti tentativi di raggiungere gli stessi obiettivi ora citati, senza ricorrere a strumenti matematici unitari e sofisticati. Anche queste ricerche possono essere considerate modelli globali, quando siano state condotte con metodo e profondità adeguate. La presente rassegna riferisce su alcune di queste attività.

In ogni caso lo scopo è quello di giungere sperabilmente a prevedere eventi o almeno tendenze future nel mondo reale. Se fosse possibile formulare previsioni a lungo termine, i piani, i programmi e le politiche potrebbero essere formulati in modo più sicuro ed efficace per raggiungere risultati desiderabili e per evitare crisi.

E' ben noto quanto siano ardue le previsioni in campi complessi. Ad esempio, nel campo dell'economia in generale e degli andamenti della borsa in particolare, pare quasi impossibile avanzare previsioni che si verifichino. Certo alcuni previsori riescono ad anticipare correttamente situazioni generali e andamenti di prezzi particolari. In questo modo sono state fatte fortune notevoli. Erano proverbiali i successi nelle speculazioni in borsa di Lord Keynes - famoso economista. Però spesso anche persone di scarsa scienza registrano grossi successi, mentre ottimi teorici perdono i loro averi.

Dato che il numero delle previsioni e dei tentativi di speculazione fatti è molto grande, non è sorprendente che il successo sia distribuito in modo che potrebbe apparire casuale. Eppure sono ben noti molti casi di piani e programmi che hanno funzionato come previsto - o meglio di quanto previsto.

Fra questi si possono citare: il Piano Marshall, i piani di ricostruzione tedesco, italiano e giapponese dopo la seconda guerra mondiale e i piani di sviluppo di numerose industrie avanzate in molti paesi.

Alcuni sostengono che la previsione è, sì, molto ardua - ma che è più facile e fruttuoso formulare previsioni normative e *self-fulfilling* (cioè: tali da verificarsi proprio a causa del fatto che sono state formulate). Queste vengono proiettate nel quadro di piani o programmi che stabiliscono quello che dovrà succedere e non si limitano a cercare di prevederlo.

Altri obiettano che non è possibile fare piani realizzabili, se prima non sono stati compresi i meccanismi che governano l'ambiente in cui si opera. Se questi meccanismi (ambientali, fisici, economici, sociali, industriali) vengono analizzati

adeguatamente, è possibile prevedere cosa accadrà nel corso naturale degli eventi. Quindi si potranno dividere i piani per modificare detto corso mediante una nuova impresa tesa a realizzare risultati più desiderabili.

I tentativi di studiare sistemi di previsione economica sono stati numerosi anche in passato. Alcuni di essi si basavano sulla presunta regolarità dei cicli economici. Però si è cominciato a parlare di modelli matematici veri e propri solo negli ultimi decenni. Notevoli successi sono stati registrati dopo la seconda guerra mondiale nell'impiego di modelli analogici o digitali di macchine nuove e di sistemi tecnologici (di comunicazione, di trasporto, energetici, di difesa).

Solo dopo il 1970, però, si è tentato di modellare su computer il comportamento socio-economico dell'intero pianeta. Perché?

Perché si cominciarono a realizzare modelli globali nel 1970?

Probabilmente la risposta è da cercare nel fatto che per la prima volta nel 1969 ebbe successo un'impresa inaudita: la missione dei primi astronauti sulla luna.

Il progetto del solo modulo lunare impiegò circa 7.000 persone per un decennio. Tremila di questi erano ingegneri e 250 di essi lavorarono esclusivamente alla realizzazione dei sistemi elettronici di bordo. La missione fu senza sorprese, ma - prima dell'allunaggio - questa operazione era stata simulata su computer secondo centinaia di modalità diverse. E ciascuna modalità era stata sperimentata decine di volte. E' ragionevole pensare che gli originatori dei primi modelli globali abbiano ragionato così:

"Siamo riusciti a prevedere e a progettare un modulo che ha viaggiato per 360.000 chilometri e, quindi, ha funzionato fuori dell'atmosfera in condizioni che nessuno aveva mai sperimentato. Poi, esattamente secondo i calcoli, il modulo è ripartito dalla luna, ha raggiunto l'astronave in orbita ed è tornato sulla terra.

"Perché, allora, non potremmo calcolare con una precisione simile anche le vicende future di fenomeni che si verificano sulla terra - anche se sono molto complessi? Perché non potremmo calcolare l'avvenire socio-economico del nostro pianeta?"

Fu, quindi, una trasposizione dallo spazio lontano e sconosciuto al tempo lontano nell'avvenire che condusse a progettare modelli globali. Ogni teoria scientifica è la creazione di un modello della realtà. In campo tecnico i modelli vengono costruiti in scala a somiglianza di macchine più grandi - oppure vengono realizzati mediante sistemi di equazioni. Questi possono essere risolti per calcolare il comportamento futuro delle macchine in progetto. In alternativa possono essere fatti funzionare simulando in un computer il comportamento di quelle macchine.

Negli anni Cinquanta i primi grossi computer venivano usati per progettare, ad esempio, i primi aerei a reazione e i primi reattori nucleari.

Alla fine degli anni Sessanta i computer avevano fatto notevoli passi avanti. Perché non usarli per modellare e simulare l'avvenire della terra?

Questa rassegna ha lo scopo di analizzare che cosa è successo da allora.

Qualcosa deve essere andato male, perchè nessuno mostra ancora di saper fare previsioni sicure in economia, nei vari settori industriali, o per programmare la conservazione e la protezione dell'ambiente. Il successo continua ad arridere solo ad alcuni fra quelli che tentano imprese nuove, ma non a tutti. Politiche finanziarie, commerciali, aziendali divise dai migliori esperti qualche volta hanno successo e qualche volta non lo hanno.

Il caso continua ad entrare pesantemente nelle cose umane.

Però gli imprenditori industriali che preparano piani accurati mensili, annuali e quinquennali in media hanno maggiore successo di quelli che non li preparano.

Non a caso il primo modello globale del pianeta fu costruito da Jay W. Forrester (1971) che, oltre ad aver inventato le memorie a nuclei magnetici per i computer, era l'ideatore della dinamica dei sistemi. Questa disciplina aveva trovato applicazione a sistemi di controllo di processi industriali, alla gestione delle aziende industriali e commerciali, all'analisi e alla pianificazione della gestione di intere aree urbane.

Definizioni e strutture dei modelli in generale

Come già accennato i modelli globali sono stati strutturati secondo tecniche e scuole di pensiero derivate dalla modellistica sviluppata nell'ambito della ingegneria dei sistemi.

Quindi è opportuno illustrare brevemente le definizioni e le strutture dei modelli in generale, perchè esse possono essere applicate direttamente anche ai modelli globali.

Ci occuperemo naturalmente solo di *modelli astratti* e non di *modelli fisici* costituiti da strutture più piccole, ma del tutto simili anche funzionalmente a quelle da modellare.

Non si può parlare in generale di un modello astratto di un processo, di una macchina o di un sistema. Infatti lo stesso processo o sistema può essere rappresentato in molti modi diversi, a seconda degli aspetti che si vogliono analizzare in un dato contesto.

Se pensiamo al moto di un corpo pesante nell'atmosfera, potremo modellarlo considerandolo equivalente a un punto materiale. Facendo così, ne trascuriamo del tutto le dimensioni fisiche - il che non produce alcun inconveniente purchè la densità del corpo sia abbastanza alta e purchè la sua velocità sia inferiore a certe soglie. Nelle stesse ipotesi (supponendo che la resistenza dell'aria possa essere trascurata e che il corpo sia soggetto alla gravità ma non ad altre forze esterne), potremo essere giustificati nel non tenere conto del peso del corpo. Infatti corpi di pesi diversi cadono da altezze non rilevanti esattamente negli stessi tempi.

Questa osservazione suggerisce già che la stessa raccolta dei dati di base deve essere orientata all'obiettivo prefisso. Non è ragionevole ammassare moli enormi di dati, senza aver formulato piani del modo in cui andranno utilizzati. D'altra parte è ovvio che solo disponendo di dati appropriati, possiamo tentare la costruzione di un modello.

I modelli matematici, dunque, sono costituiti da sistemi di equazioni atti a descrivere in modo formale le dipendenze funzionali fra grandezze rilevanti nell'analisi di un processo o di un sistema.

I *modelli dinamici* sono quelli che studiano grandezze e interazioni variabili nel tempo. I **modelli statici**, invece, analizzano le dipendenze fra grandezze in un dato istante: è come se fotografassero una situazione immobilizzandola. Appartengono alla categoria dei sistemi statici alcuni modelli econometrici, come le matrici input/output di Leontief.

Un'analogia contabile si trova negli stati patrimoniali delle aziende, che costituiscono un modello statico della gestione, contrapposto al conto profitti e perdite, che rappresenta un modello dinamico.

I modelli possono essere *lineari* o *non lineari*. Nei primi si assume che fattori diversi sovrappongano i loro effetti in modo lineare. Se un primo fattore produce da solo un effetto E_1 e un secondo fattore produce un effetto E_2 , l'applicazione simultanea dei due fattori produrrà l'effetto $E_1 + E_2$. Quando questo non si verifica, un modello lineare è inadeguato a rappresentare la realtà. Dovrà essere usato un modello non lineare. Ad esempio, se installiamo su una barca un motore fuoribordo da 6 cavalli otterremo una velocità massima di 4 nodi. Non è vero, però, che se installiamo due motori da 6 cavalli ciascuno raddoppieremo la velocità. La velocità massima sarà probabilmente di circa 5,6 nodi. Questo dipende dal fatto che la resistenza dell'acqua non cresce linearmente con la velocità, ma cresce con legge quadratica.

Nei *modelli aperti* alcune delle variabili si evolvono secondo sequenze di valori determinate dall'esterno del modello. Queste variabili si chiamano **esogene**. Esse possono essere state determinate in base alla conoscenza di situazione deterministiche in dati campi e per certi periodi di tempo. Ad esempio, in alcuni modelli la popolazione di un'area geografica può essere presa come variabile esogena, perchè si presta fiducia alle proiezioni demografiche effettuate su un arco di tempo limitato. L'ipotesi che il tasso di incremento demografico non vari apprezzabilmente entro 5 anni può essere accettata. Non sarebbe ragionevole, invece, accettare che quel tasso si mantenga costante per 50 anni - o per 500.

Nei *modelli chiusi*, invece, ogni sequenza (in genere temporale) di valori assunti da una variabile viene determinata all'interno del modello. I meccanismi che governano i valori delle variabili dipendono dalle vicissitudini attraversate da altri fattori ed altre variabili. Queste dipendenze mutue si chiudono in cicli di *retroazione* (o *feedback*).

I modelli possono essere molto *aggregati*, se raggruppano in una sola quantità (caratterizzata da una sua misura) molte entità che sono omogenee fra loro da qualche punto di vista, mentre possono essere eterogenee per altri.

Come vedremo, ad esempio, il primo modello globale (di Forrester) aggregava a livello mondiale in una sola quantità la popolazione del globo.

Usava un solo numero per misurare i capitali investiti in industria o in agricoltura, di nuovo su base mondiale. Altri modelli, invece, sono più *disaggregati*. Suddividono il pianeta in 10 o 12 regioni (delle dimensioni di sub-continenti) e analizzano separatamente i meccanismi di variabilità dei fattori nell'ambito di ciascuna regione. Poi i valori determinati in una regione possono

interagire con quelli relativi agli stessi o ad altri fattori in altre regioni. Ad esempio, la disponibilità di capitali in un paese avanzato, può avere per conseguenza investimenti in una regione in via di sviluppo geograficamente molto lontana. Infine i valori globali possono essere riaggregati, sommando i risultati ottenuti nelle varie regioni.

E' ovvio che in generale si ottengono risultati più precisi con modelli più disaggregati, purchè i dati disaggregati siano disponibili e significativi.

Questa maggiore precisione, però, si paga con una complessità molto maggiore del modello, che diventa così più costoso da costruire e da gestire.

I modelli sono utili se davvero funzionano in modi atti a rappresentare abbastanza fedelmente la realtà, almeno entro certi limiti di spazio, di tempo e di variabilità dei fattori implicati. Dimostrare che un modello è fedele alla realtà (con i vincoli citati) significa averlo *validato*. Se un modello può essere validato anche relativamente a intervalli di tempo futuri, questo implica che il modello ha **valore predittivo**.

Nelle parti seguenti della rassegna e specialmente nella Parte terza, questi problemi saranno trattati diffusamente.

E' pensabile che un modello abbia valore predittivo se si accetta che l'ambiente raffigurato ed i fattori ivi presenti abbiano un comportamento *deterministico*.

E' noto che questa sicurezza può essere raggiunta raramente. Quando trattiamo situazioni complesse, implicanti numeri enormi di elementi e di fattori, spesso le fluttuazioni dei valori finali dipendono da meccanismi così molteplici da rendere necessario un approccio *probabilistico*.

I *modelli stocastici* sono, appunto, quelli che sfruttano strumenti del calcolo delle probabilità per giungere almeno a indicare quale sia l'incertezza da cui le previsioni sono affette (in greco *stochos* significa congettura).

Alcuni modelli possono rappresentare uno stato stabile dei sistemi modellati - oppure possono rappresentare successioni di stati transitori che non si ripetono mai identici a sè stessi.

Può accadere che un modello indichi come, partendo da certe condizioni iniziali, il sistema rappresentato debba divenire instabile e, ad esempio, raggiungere un collasso a causa del valore eccessivo o troppo scarso di certe variabili. Questo potrebbe accadere, ad esempio, se un modello globale determinasse che in una certa regione per un lungo periodo di tempo la disponibilità di alimenti sarà tanto scarsa da generare una grave carestia, seguita dalla morte per fame di milioni di persone.

E' chiaramente un problema di validazione quello di determinare se l'instabilità è davvero un carattere del sistema modellato, oppure è presente solo nel modello. Nella Parte terza chiariremo come anche sistemi di equazioni possano essere poco stabili e, quindi, inadatti a fornire risultati utili.

Vale la pena di anticipare qui che i sistemi di equazioni lineari algebriche sono mal condizionati, se una o più delle equazioni sono quasi combinazione lineare di altre. In questi casi accade che variando un coefficiente di un valore minimo, i risultati variano di molti ordini di grandezza.

E' illuminante un esempio semplicissimo citato da Oskar Morgenstern.

Prendiamo il sistema di due equazioni:

$$x - y = 1$$

$$x - 0,99999y = 0$$

Si vede subito che le soluzioni sono $y = -100.000$ e $x = -99.999$

Supponiamo, ora di variare il coefficiente della y nella seconda equazione facendolo crescere di 2 centomillesimi. Il sistema diventa ora:

$$x - y = 1$$

$$x - 1,00001y = 0$$

Le soluzioni saranno ora: $y = +100.000$ e $x = +100.001$

Una variazione di un coefficiente che potrebbe ben essere compresa nell'intervallo degli errori di misura ammissibili, fa cambiare i risultati da -100.000 a +100.000.

C'è da osservare, infine, che nessun modello potrà dare buoni risultati, se i dati su cui è basato non sono aderenti alla realtà. Questo aspetto è trattato nel seguente par. 2.

Piano della presente rassegna dei modelli globali

Questa rassegna è suddivisa in 5 parti. Dopo la presente introduzione, la Parte prima discute in termini generali i vari tipi di modelli suddivisi per classi e descrive caratteristiche e basi teoriche dei modelli basati su:

- teoria dei sistemi dinamici;
- teoria dei sistemi gerarchici plurilivelli;
- criteri probabilistici;
- teoria di Leontief (Input/Output);
- equazioni di Volterra.

Questa trattazione non pretende certo di illustrare in modo completo e professionale le basi teoriche citate. Intende, però, riportarne i tratti essenziali allo scopo di:

- stabilire termini di riferimento comuni, che risulteranno utili nella Parte seconda di descrizione dei singoli modelli globali;
- chiarire la struttura concettuale di classi di modelli onde costruire una base per la discussione metodologica della Parte terza e per le Parti quarta e quinta che contengono la parte propositiva e progettuale della presente rassegna.

La Parte prima descrive, poi, procedure accettate per la redazione di scenari. Questi si potrebbero definire racconti discorsivi concernenti l'avvenire.

Non si può dire che la loro costruzione abbia vere e proprie basi scientifiche. D'altra parte sarebbe impossibile concepire un modello globale senza prima averne descritto in parole le basi dati di partenza, le variabili da considerare, gli obiettivi e i meccanismi. Ogni modello globale, come sarà chiarito in seguito, contiene una sua parte di scenario.

La stessa asserzione può essere fatta per i modelli, più modesti di quelli globali, che intendono rappresentare sistemi tecnologici in fase di progetto.

La disciplina (o arte) utilizzata allo scopo è l'ingegneria dei sistemi, che si differenzia dalla teoria dei sistemi in quanto tratta anche problemi che sarebbe arduo o impossibile formalizzare. Quando si analizza o si progetta un sistema che non è pensabile rappresentare in modo sensato con un sistema di equazioni, occorre, appunto, discuterne meccanismi e prestazioni mediante analisi verbali eseguite da gruppi di esperti. Tali analisi verbali tentano di configurare funzionamenti futuri di sistemi ancora inesistenti - e presentano strette analogie con gli scenari incorporati nei modelli globali.

Infine la Parte prima esamina rapidamente i modelli climatici. Purtroppo lo stato dell'arte in questo campo non ha progredito abbastanza da permettere di utilizzare i risultati di modelli climatici a scopi di pianificazione a lungo termine. Gli effetti del clima, però, possono essere così importanti (sia sull'ambiente naturale, sia sulle attività umane) da imporre che all'evoluzione dei modelli climatici si presti la massima attenzione - magari solo per memoria.

La Parte seconda riporta descrizioni sintetiche di 14 modelli globali:

1. Forrester Meadows ("Limiti dello sviluppo");
2. Mesarovic-Pestel e WIM (World Integrated Model);
3. Linneman (MOIRA);
4. Bariloche Foundation;
5. Leontief (UN World Model);
6. Global 2000 - Modello Amministrazione Carter;
7. SARUM (Sussex University);
8. Interfutures (OCSE, Lesourne);
9. FUGI (Kaya e Onishi);
10. UNITAD (Royer);
11. Case Study IIASA su futuri ambientali europei;
12. GLOBUS (Bremer);
13. Modelli logistici di sostituzione;
14. Modello econometrico IIASA-Università di Bonn.

Queste descrizioni sono forzatamente sintetiche. Esse sono dichiaratamente non asettiche, nel senso che nel testo appaiono critiche e appunti che, in quanto possibile, sono stati discussi e sono condivisi da tutti gli autori.

Per ciascun modello si tenta di dare:

un'idea delle dimensioni e dei modi in cui le teorie illustrate nella Parte prima sono state applicate;

una valutazione della documentazione del modello e, quindi, della sua validabilità o, quanto meno, della possibilità di emettere giudizi su di esso;

una sinossi dei risultati ottenuti e delle conclusioni raggiunte.

La Parte terza contiene una discussione metodologica. Il primo capitolo di essa tratta in dettaglio le reazioni ai modelli di Forrester e Meadows (limiti dello sviluppo). Questa decisione non è stata presa perchè questi modelli sono i più noti. La motivazione è stata che essi sono i meglio documentati e quelli che hanno richiamato le più significative discussioni di esperti. Il dibattito su di essi è stato abbastanza approfondito da assumere importanza e significato generali. I punti critici emersi in questi lavori, spesso polemici, dovranno essere tenuti presenti in ogni fase propositiva futura.

Quindi la Parte terza affronta questioni tecniche relative ai modi di usare la matematica nei modelli ed alla affidabilità delle soluzioni ottenute mediante computer.

Altri capitoli di questa Parte discutono problemi di validazione, epistemologici e relativi alle comunicazioni che si intrecciano tra: teorici, originatori delle strutture concettuali, analisti, programmatori, redattori dei rapporti finali e committenti.

La Parte quarta descrive lo stato dell'arte e suggerisce possibili vie nuove che la modellistica globale potrà percorrere. Particolare attenzione viene posta su:

- raccolta e validazione dei dati;
- integrazione fra tecniche e procedure diverse;
- problemi di scala (risoluzione temporale e spaziale).

Infine la Parte quinta contiene le linee essenziali di un progetto di prosecuzione della ricerca. Qui va ricordato che la presente rassegna non poteva addentrarsi nella ricerca sostantiva, nè nelle analisi computerizzate di modelli esistenti o di progetti di modelli futuri. Non lo avrebbero permesso i limiti di tempo e quelli imposti al costo della rassegna.

La prosecuzione della ricerca, quindi, potrà consistere nello studio di fattibilità di un programma modellistico integrato. Questo potrà consistere di una parte teorica e di analisi e progetti di modelli di cui si realizzino almeno alcune componenti.

L'impegno per la realizzazione di un futuro modello globale integrato scevro dai difetti riscontrati nel corso della rassegna, potrà costituire, infine, l'oggetto di un'ulteriore impresa di cui lo studio di fattibilità definirà tempi e costi.

A supporto della trattazione ora descritta, un'Appendice riporta una descrizione generale dei modelli globali, dei risultati ottenuti e delle critiche mosse. Il testo relativo è composito: in parte costituito da citazioni di rapporti finali sui singoli modelli e da passi di dibattiti svolti in conferenze internazionali; in parte riassume concetti e nozioni elaborate nelle prime 5 parti, esponendole in modo meno tecnico e più illustrativo.