

XXVIII CONFERENZA ITALIANA DI SCIENZE REGIONALI

SISTEMI MULTIAGENTE, SCIENZA DELLA COMPLESSITÀ ED EVOLUZIONISMO

Giovanni A. RABINO¹

¹ Politecnico di Milano - DiAP, piazza Leonardo da Vinci 32, 20133, Milano

SOMMARIO

Il saggio è dedicato ad una riflessione epistemologica sui sistemi multi-agente, dettata dalla sempre più estesa applicazione di questa metodologia nella simulazione dei sistemi (nelle più diverse discipline, ed in particolare anche nelle “scienze regionali”: economia, sociologia, pianificazione del territorio ...).

Vengono dapprima considerate tre concezioni di sistema multiagente: la prima è la visione formale, legata alla struttura matematica dei modelli stessi; la seconda collega i sistemi multi-agente al paradigma scientifico evoluzionista; la terza, infine, (visione computazionale) li associa al passaggio dalla trattazione analitica alla risoluzione algoritmica del problema della modellizzazione.

Viene mostrata, poi, l'insufficienza degli approcci singolarmente analizzati. Una corretta comprensione deriva solo da una loro considerazione sinergica.

E' quindi esplorata la relazione tra MAS e scienza della complessità.

Viene dimostrato che la simulazione multiagente è lo strumento più appropriato di modellizzazione di questo tipo di sistemi, rispetto a tre aspetti (di rilevante interesse nella scienza della complessità): le strutture a-gerarchiche (connessioniste), la relazione individuo – organizzazione, il rapporto tra micro e macro descrizione di un sistema.

1. INTRODUZIONE

La rappresentazione dei sistemi tramite la modellizzazione multi-agente (MAS: multi agent system; o, talora, ABM: agent based model-ing) è una metodologia che ha visto, negli ultimi dieci anni, una crescita esplosiva, interessando i più disparati campi del sapere: dall'intelligenza artificiale alla medicina, dalla ricerca operativa alle scienze cognitive, dall'economia alle scienze sociali e territoriali.

Più che le scienze della natura, sembrano soprattutto essere le scienze dell'uomo e dell'artificiale le discipline maggiormente investite da questo impetuoso sviluppo metodologico, carico di una forte valenza innovativa testimoniata dalla nascita di nuove branche del sapere (ad esempio, l'economia computazionale, la simulazione sociale, la geo-computazione).

Nel paragrafo 2. cominceremo introducendo il concetto stesso di sistema multi-agente. Vengono mostrate tre concezioni di sistema multiagente: la visione formale, legata alla struttura matematica dei modelli stessi; la visione epistemologica, collegata al paradigma scientifico evoluzionista; la visione computazionale, associa al modo di "risolvere" il modello. Sottolineata l'insufficienza di queste visioni singolarmente considerate, si mostra come una corretta comprensione deriva solo dalla loro sinergia.

Nel paragrafo 3. è poi esplorata la relazione tra MAS e scienza della complessità.

Data una personale interpretazione della natura di questa scienza, si spiega perché la simulazione multiagente è lo strumento più appropriato di modellizzazione di questo tipo di sistemi, considerando tre aspetti (di rilevante interesse nella scienza detta): le strutture a gerarchiche (connessioniste), la relazione individuo – organizzazione, il rapporto tra micro e macro descrizione di un sistema.

2. IL CONCETTO DI SISTEMA MULTI-AGENTE

Il concetto di sistema multi-agente può sembrare addirittura banale; ed essere immediatamente compreso dalla descrizione del processo di modellazione MAS, in particolare se confrontato con il metodo tradizionale di costruzione dei modelli.

Chiameremo questo modo di introdurre il concetto di MAS, *approccio formale*. Ma dobbiamo notare subito che l'immediatezza dell'approccio formale lascia ampio spazio ad ambiguità ed imprecisioni interpretative, anche di non poco significato.

Per superare queste occorre una più vasta riflessione sia sul piano dei paradigmi scientifici (*approccio epistemologico*) sia sul piano dei meccanismi cognitivi (*approccio computazionale*). Esporremo, nell'ordine, i tre approcci.

2.1 Approccio formale

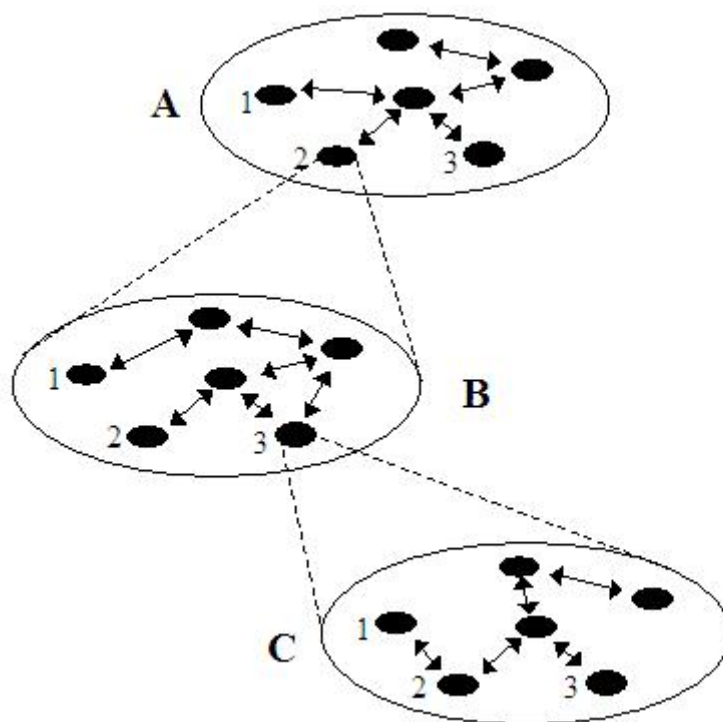


Figura 2. 1 - Sistema, elementi, relazioni, sottosistemi e livelli di aggregazione

Avendo sott'occhio la figura 2.1 si consideri una qualsivoglia entità, ad esempio una città, un processo localizzativi o - putacaso - il sistema solare, vista come entità sistemica (oggetto B nella figura).

Secondo la definizione stessa di sistema, il sistema (B) sarà concepito come un insieme di elementi (b1, b2, b3 ...) connessi da relazioni (meccanismi di interdipendenza, raffigurati come frecce).

Naturalmente è noto all'analista dei sistemi che ogni elemento del sistema è (o può essere) a sua volta un sistema, "sotto-sistema" del sistema dato (nella figura: b3 esplicitato come sistema C). Così, ad esempio, un elemento della città, un quartiere, può essere articolato nei suoi elementi costitutivi (case, negozi, scuole ...) e nelle relazioni tra questi ultimi.

Analogamente il sistema in oggetto è (o può essere) a sua volta un elemento di un più generale sistema (nella figura: B come elemento a2 del sistema A). Così, ad esempio, il sistema città può essere una città all'interno di un sistema regionale.

Difficile compito dell'analista dei sistemi è tradurre il sistema "reale" nel suo "modello"¹. Sulla base dei dati disponibili, delle sue (più o meno limitate) conoscenze e finalità di analisi ed anche delle sue personali preferenze (conscie o non), egli deve:

¹ La complessità del processo di modellizzazione è sempre stata all'attenzione dei suoi addetti, anche in campo territoriale, dall'inizio (Lowry, 1965) alle più recenti evoluzioni (si veda, ad esempio, Occelli e Rabino, 2006)

- decidere a quale livello descrivere il sistema in esame, se A o B o C (problema della finestra di osservazione);
- valutare se, e come, trattare il rapporto tra il “sistema modello” prescelto ed un più generale sistema in cui esso può essere inserito (rapporto tra B ed A) (problema della chiusura);
- individuare quali elementi (b1, b2,) e quali interazioni considerare, nonché come specificare tali relazioni (problema dell’ontologia);
- parallelamente, scegliere, tra gli elementi di cui sopra, se e quali dettagliare esplicitamente in sottosistemi del modello (b3 sostituito con C) (problema della disaggregazione).

In questa complessa operazione la modellistica tradizionale privilegiava un approccio, che potremmo definire globale, orientato verso il sistema nel suo complesso; cioè, definiti gli elementi costitutivi, prevalentemente focalizzato verso l’insieme di interrelazioni tra elementi, come determinanti “appunto nel loro insieme” delle proprietà del sistema.

In questa ottica la modellistica classica dapprima si è diretta a rappresentazioni semplificate della realtà, con sistemi costituiti da pochi elementi (e cioè, modelli con poche variabili), ma studiando le implicazioni di interazioni di forma funzionale anche molto complessa² (si tratta dei “modelli analitici”, così detti perché generalmente risolti non attraverso il calcolo, ma con l’analisi matematica).

Poi, quando si sono resi disponibili potenti strumenti di calcolo (il computer, per intenderci), la modellistica classica si è estesa anche verso i “modelli a larga scala” costituiti da moltissime variabili e moltissime relazioni, divenuti trattabili appunto grazie al nuovo strumento³; ma restando sempre nell’ottica globale sopra detta.

La modellizzazioni multiagente privilegia, per contro, un approccio, che potremmo definire *locale*, più orientato verso i diversi elementi costitutivi del sistema (gli agenti); cioè prevalentemente focalizzato verso l’approfondimento di come sia costituito ogni elemento (agente) (b3 strutturato nel modo C, facendo riferimento alla figura 2.1) e di come tale sua struttura definisca le sue interrelazioni con gli altri elementi (agenti). Naturalmente la definizione “locale” di tutti gli elementi (agenti), e delle loro relazioni, comporta la definizione del funzionamento globale del sistema in esame.

La preferibilità dell’approccio MAS rispetto al metodo classico può essere argomentata in vari modi. Qui basta osservare che si riconosce subito la possibilità con questo approccio di introdurre, più agevolmente rispetto al metodo tradizionale, comportamenti variabili nel tempo degli agenti, in conseguenza di variazioni delle circostanze in cui si vengono a trovare⁴.

² La regola “rango - dimensione” nella distribuzione secondo grandezza delle città (Auerbach F., 1913) è un ottimo esempio di questa modellistica.

³ Il modello urbano di Lowry (1964) è il caso esemplare di queste (allora) nuove possibilità.

⁴ Secondo alcuni, questa caratteristica è distintiva dei MAS ed in sua assenza si dovrebbe parlare di “microsimulazione”.

L'astratta presentazione del concetto di MAS, che precede, può essere utilmente supportata da un esempio. Si consideri a questo proposito il sistema “pendolarismo in un certo territorio”. In una ottica classica, gettando uno sguardo “globale” al sistema si riconosce che nel territorio considerato:

- c'è una certa quantità di persone che partono da varie zone (O_i);
- ci sono zone diversamente attrattive per quelle persone (W_j);
- ci sono certe distanze tra le zone di partenza e quelle di arrivo (c_{ij});
- i dati empirici confermano, con ragionevole approssimazione, che la quantità di persone che si spostano da una origine ad una destinazione (F_{ij}) è proporzionale al numero di partenti da quella zona, all'attrattività della zona di destinazione; ed è inversamente proporzionale alla distanza tra le zone considerate.

Questi dati (variabili e relazioni) conducono a formulare⁵, per il sistema, il ben noto modello (gravitazionale) di interazione spaziale:

$$F_{ij} = A_i O_i W_j \exp(-\beta c_{ij}) \quad \text{con} \quad A_i = \left[\sum_l W_l \exp(-\beta c_{il}) \right]^{-1} \quad (2.1)$$

dove β è un parametro che misura quanto “pesi” la distanza nella propensione a spostarsi dei pendolari.

Considerando lo stesso sistema in un'ottica multiagente, è del tutto ovvio indirizzare l'attenzione verso il singolo pendolare, che appare come il “vero” attore nel fenomeno in esame⁶.

Volendo caratterizzarlo, come è nella natura del metodo MAS, una semplice riflessione sulle preferenze dei pendolari induce a considerare che egli desidera accedere alla zona massimamente attrattiva, minimizzando nel contempo il “costo” dello spostamento dalla sua zona di origine; in altre parole che egli cerchi come zona di destinazione quella che massimizza la sua utilità:

$$U_{ij} = \ln W_j - \beta c_{ij}$$

dove β è un parametro che valuta il trade-off tra benefici (accesso a zona di attrattività W_j) e costi (distanza c_{ij} da superare).

Se consideriamo poi che per ogni origine ci sono O_i pendolari, è meglio scrivere l'utilità, per il generico (n-esimo) agente, come:

$$U_{ij}^n = \ln W_j - \beta c_{ij} + \varepsilon_{ij}^n$$

dove ε_{ij}^n è un termine che misura lo scostamento (positivo o negativo) nell'utilità del n-esimo agente rispetto ad un agente “medio”. Questo termine è aggiunto, infatti, perché è più realistico assumere che i vari pendolari percepiscano *ceteris paribus*, per limiti di

⁵ Insieme a qualche altra assunzione, di carattere più tecnico, irrilevante ai fini della presente trattazione.

⁶ Naturalmente la modellizzazione MAS sarà attuata per condizioni del tutto identiche a quelle della modellizzazione tradizionale. Ci si ricorderà, cioè, che vi sono O_i pendolari in partenza dalla zona i , che le zone distano tra loro c_{ij} ...

informazione sui valori delle variabili in gioco (W_j , c_{ij}) o per differenziazione nelle preferenze, utilità più o meno elevate (rispetto ad un dato medio).

A questo punto si dispongono di quasi tutte le informazioni necessarie per condurre, per via numerica, la simulazione del comportamento degli agenti. Se, infatti, a completa specificazione dei dati sugli agenti, si avanzano le ipotesi aggiuntive che i comportamenti dei pendolari siano totalmente indipendenti tra di loro⁷ ed identicamente distribuiti⁸, i flussi F_{ij} che si ottengono dalla microsimulazione sono eguali a quelli forniti dalla equazione 2.1!⁹

Comprenderà il lettore da questo esempio, oltre alla differenza tra i due approcci, anche come nei MAS sia più agevole introdurre ipotesi più complesse sugli agenti (sui pendolari), ad esempio il considerare comportamenti imitativi o di inerzia al cambiamento, di quanto sia il farlo operando sulla formula 2.1.

Consideriamo ora il sistema di equazioni ($j = 1, \dots, m$):

$$\dot{W}_j = \frac{dW_j}{dt} = \varepsilon \left(\sum_i F_{ij} - kW_j \right) \quad (2.2)$$

dove ε e k sono parametri ed F_{ij} è dato dalla equazione 2.1 (avendo i simboli conservato lo stesso significato).

Questo modello, noto come modello di Harris e Wilson (1978), rappresenta un sistema territoriale dinamico di m centri di servizio (di dimensione W_j e di attrattività proporzionale alla dimensione) che, per effetto di un meccanismo di rapporto¹⁰ tra benefici (proporzionali a $\sum_i F_{ij}$, cioè proporzionali al numero di fruitori del centro di servizio¹¹) e costi (proporzionali a W_j), evolvono (crescono/decregono in dimensione) nel tempo.

Si tratta, come il lettore può giudicare da sé, di una modellizzazione “classica”, anche se la larga scala, le non-linearità e l’accoppiamento (interdipendenza) tra le equazioni impone la risoluzione attraverso la computazione numerica.

Tuttavia si possono anche vedere i centri di servizio come agenti. Visti come agenti, essi competono per assicurarsi la clientela (equazione 2.1); ed attuano politiche di dimensionamento (sulla base di rapporti tra benefici e costi) in risposta al carattere più o meno vincente nella competizione (equazione 2.2). Dunque il modello in oggetto può essere anche considerato un MAS.

⁷ Cioè ε_{ij} non correlati tra di loro

⁸ Cioè che gli ε_{ij} siano variazioni casuali riferibili ad una stessa funzione di distribuzione (e, particolare tecnico qui non rilevante, si assume che la funzione sia del tipo detto di Gumbel).

⁹ Non a caso si è scelto un esempio che potesse mostrare che modellistica classica e metodo multiagente possono condurre ad una rappresentazione equivalente del sistema (avendo fatto ipotesi congruenti). Nel caso specifico, poi, l’equivalenza può essere mostrata anche per via analitica (si veda, ad esempio, Cascetta , 1990).

¹⁰ Per l’esattezza si tratta di “differenza” tra benefici e costi.

¹¹ Fruitori che accedono ai centri secondo una ipotesi “gravitazionale” (equazione 2.1).

In conclusione, specie quando non si dispongono di rappresentazioni “alternative” dello stesso sistema, come nell’esempio iniziale, può risultare difficile stabilire, dalla sola struttura formale del modello, se si tratti di MAS o non.

2.2 *Approccio epistemologico*

Come si è sopra richiamato, se chiamati a modellare il sistema prima descritto, nel passato tutti gli studiosi avrebbero adottato il primo punto di vista sul modello; oggi, invece, una larga maggioranza preferirebbe la visione secondo agenti. L’*approccio epistemologico* al concetto di sistema multiagente individua quindi in una diversa *forma mentis* dell’analista di sistemi la più sottile ma reale natura della transizione dalla modellistica classica a quella MAS.

In effetti la seconda metà del Novecento ha assistito ad una vera rivoluzione dei paradigmi scientifici, nel senso propriamente Kuhniano del termine (Kuhn, 1969). La visione del mondo secondo la prospettiva evoluzionistica¹² darwinista¹³, a partire dalla biologia, si è andata imponendo in pressochè tutti i campi del sapere (dalle scienze dell’uomo, ad esempio la psicologia evoluzionista; alle scienze della natura, ad esempio la medicina evoluzionista) a sostituzione del paradigma meccanicista (funzionalista, strutturalista od organicista) delle scienze classiche¹⁴.

Ricordiamo che, al cuore del darwismo biologico, c’è il riconoscimento che un organismo deve essere caratterizzato a due livelli:

- quello di fenotipo, ovverosia delle sue proprietà (fenomenologiche) che lo specificano nelle interazioni con l’ambiente in cui è collocato (altri organismi della stessa o di altra specie, ...);
- quello di genotipo, ovverosia delle proprietà degli elementi (geni) costitutivi che ne determinano l’essere quello che è.

Ed è solo l’interazione tra i processi ai due livelli (per Darwin: la selezione ambientale del più adatto, a livello di fenotipo; e la generazioni di mutazioni, a livello di genotipo) che spiega l’evoluzione degli organismi¹⁵.

Riletto in termini più generali, il contributo che il darwinismo porta all’analisi dei sistemi è quello della necessità, nel trattare una qualche entità, di considerare sempre (almeno) due livelli di rappresentazione (l’entità come sistema costituito da ...; e l’entità come elemento del

¹² Talora questo nuovo paradigma viene chiamato “scienza della complessità” (complessità che, come mostreremo al punto 2.1, è strettamente connessa all’evoluzionismo). Qui preferiamo il riferimento all’evoluzionismo perché storicamente, ci pare, è stato questo a “trainare” quella, più che il viceversa.

¹³ E’ usato il termine darwinista perché ci si vuole espressamente riferire a tutto lo sviluppo (comprese le controversie e le questioni aperte) di questo filone di pensiero, susseguente alla iniziale formulazione darwiniana (Darwin, 1859).

¹⁴ Una più estesa trattazione di questa rivoluzione, unitamente alle sue influenze su economia, società e cultura, ed alle sue implicazioni per la pianificazione del territorio, si può trovare in Rabino G.A. (1998).

¹⁵ Diversamente non spiegabile sulla base della considerazione singola dei meccanismi di ciascuno dei due livelli.

sistema ...) in interazione tra di loro. Ed è proprio questa duplicità di rappresentazione quella radicata nella *forma mentis* della simulazione multi-agente.

Merita osservare che la visione evoluzionista sostituisce, al mero dualismo globale locale introdotto all'inizio di questa trattazione, una prospettiva multi-livello di sistemi annidati l'uno nell'altro, che, estrapolando in modo del tutto naturale (anzi, in modo logicamente consequenziale) quanto appena detto, apre ad una modellizzazione olistica della natura (antitetica al "riduzionismo" sotteso alla "chiusura" del sistema, propria della modellizzazione classica).

E merita osservare anche che proprio questa attenzione all'olismo costituisce una delle due "molle" della generalizzazione¹⁶ dell'evoluzionismo dalla biologia a tutte le scienze. L'altra¹⁷ è l'attenzione alla "irreversibilità" della evoluzione dei sistemi (antitetica alle usuali ipotesi di equilibrio o, al più, quasi-equilibrio).

2.3 Approccio computazionale

Lo sviluppo dei MAS, e (forse) più in generale tutto il cambiamento paradigmatico sopra richiamato, non avrebbe potuto avere luogo senza un indispensabile prerequisito: lo sviluppo dell'elaborazione automatica¹⁸.

Ricorderà, infatti, il lettore che nella presentazione iniziale di un esempio di sistema multi-agente (il sistema pendolarità) si era citato il ricorso a questa tecnologia per "risolvere" il sistema stesso.

Difatti, in generale, i sistemi multi-agente ereditano dai preesistenti modelli a larga scala la necessità di servirsi della computazione numerica, per due ragioni:

- la numerosità degli agenti e delle loro interazioni¹⁹, ostacolo eminentemente operativo²⁰;
- la complessa forma funzionale delle relazioni (nonché il loro "accoppiamento"²¹), problema di sostanza²². Questa complessità si manifesta, in particolare, nella possibilità²³

¹⁶ Propiziata, per questo aspetto, dallo svilupparsi nella prima metà del Novecento di visioni diverse della natura (ad esempio, meccanica quantistica alla scala atomica e meccanica classica alla scala ordinaria) e dalla crescente consapevolezza dei limiti del riduzionismo (ad esempio, teoremi di indecidibilità di Godel per sistemi assiomatici "chiusi").

¹⁷ Per questo altro aspetto, elementi propiziatori della generalizzazione del paradigma, nella prima metà del Novecento, sono stati lo studio di fenomeni intrinsecamente irreversibili (ad esempio, i processi dissipativi di I. Prigogine) e l'attenzione ai fenomeni imprevedibili (ad esempio, le dinamiche caotiche di H. Poincaré).

¹⁸ Vogliamo con ciò richiamare gli avanzamenti nelle modalità esecutive dei calcoli, le aumentate possibilità di gestione e rappresentazione dei dati, la immensamente cresciuta "potenza" di calcolo e di memoria (tutti fatti permessi dalle successive evoluzioni di hardware e software).

¹⁹ Per la precisione, non il numero assoluto, ma la numerosità di tipi di agenti e relazioni.

²⁰ Difatti per questo aspetto è solo l'onere del lavoro che indirizza all'automazione del calcolo.

²¹ Cioè la reciproca dipendenza delle relazioni e quindi la necessità di soluzione "simultanea" delle relazioni stesse.

²² Ovverosia impossibilità di risolvere altrimenti (leggasi, per via analitica) il sistema.

²³ Come, in effetti, quasi sempre avviene.

di esprimere le relazioni stesse in forma algoritmica²⁴; fatto che, se da un lato facilita la (ed amplia le potenzialità di) descrizione delle caratteristiche dei sistemi multi-agente, da un altro inesorabilmente impone la soluzione computazionale.

Conseguenza inevitabile della simulazione numerica è che nel modello MAS, nel suo funzionamento complessivo (o di particolari significative aggregazioni parziali di agenti), diventa inintelligibile il *rapporto logico* tra cause (cioè il comportamento ipotizzato per i singoli agenti) ed effetto (il funzionamento detto).

Ove si voglia esprimere un giudizio di valore, questa incomprensibilità si presta ad una lettura bivalente:

- da un lato, pone problemi di affidabilità e di validazione del modello²⁵;
- da un altro lato, pone in evidenza il pregio specifico della modellistica MAS, che è quello di fare “emergere”²⁶ le proprietà globali del sistema, cioè di costruire - a partire da un livello di conoscenza - un altro livello di conoscenza, al di là della capacità logica dell'uomo da sola.

Non sfugga la portata di quest'ultima affermazione, che segnala addirittura - e non è una iperbole - un nuovo modo di fare scienza²⁷, caratterizzato dal “ragionamento basato sul calcolatore”, espressione in cui il termine basato vuole sottolineare che il razioicinio non è più solo pensiero umano supportato (nella memoria, nel calcolo, ...) dal computer; ma è costituito

²⁴ La relazione viene espressa, non in forma di funzione matematica, ma come insieme strutturato di “istruzioni” declarative del comportamento relazionale. Tipica è l'istruzione: *SE* (si danno queste condizioni), *ALLORA* (si producono queste conseguenze).

²⁵ L'affidabilità (Come possiamo essere sicuri che il funzionamento è proprio quello?) pone un più generale - quasi filosofico - problema di “credenza” nei risultati dei modelli costruiti secondo l'approccio MAS. A questo problema daremo una risposta alla fine di questo stesso punto 2.3. E pone un problema più operativo: come essere sicuri che il modello è stato correttamente programmato? Cioè che non ci sono errori nella sua implementazione informatica? A questo problema basta qui dire che esistono soluzioni informatiche (anche se la garanzia totale non è mai data).

La validazione (Come possiamo essere sicuri che il modello MAS adottato è proprio quello “vero” del sistema in esame?) pone un problema metodologico, peraltro comune a tutti i modelli. Nei modelli classici la verifica empirica dei risultati (cioè la corrispondenza tra funzionamento reale e funzionamto modellato) automaticamente implicava la validità delle ipotesi di modellazione. Nei MAS, per tutto quanto sopra detto, questa logica consequenzialità non si dà. Occorre ricorrere ad una nuova metodologia di validazione, i cui due cardini sono:

a. La descrizione quanto più possibile esaustiva, analitica e rigorosa degli elementi costitutivi del modello. Si tratta cioè di definire l'ontologia (detta ontologia formale, per distinguerla da quella filosofica) del modello, al fine di minimizzare le ambiguità interpretative;

b. La disponibilità di (un certo numero di) software multi-agente “standard” (accuratamente “testati”) per la conduzione ripetuta delle simulazioni in condizioni controllate, in modo tale da verificare attraverso la riproducibilità dei risultati la validità del modello stesso.

²⁶ Il termine “emergenza” bene rende l'idea dell'apparire imprevisto (perché logicamente imprevedibile) di un certo comportamento complessivo (proprietà globale) del sistema. Si può aggiungere che si parla di “emergenza debole” quando c'è solo un osservatore a cogliere tali proprietà emergenti; si definisce “emergenza forte”, invece, il caso in cui esse (nel funzionamento del sistema) hanno un feedback con le variabili del livello locale di descrizione del sistema stesso.

²⁷ Espressione ripresa anche nel titolo di un recente libro di Wolfram, uno dei “padri” degli automi cellulari (Wolfram, 2002)

- nel suo essere stesso – dalla stretta e paritaria interazione tra capacità mentali ed elaborazione informatica²⁸.

In conclusione, l'approccio MAS anche nella sua dimensione operativa ha una valenza molto più profonda di quanto intuibile da una sua pura lettura formale.

3. MODELLIZZAZIONE MULTI-AGENTE E COMPLESSITÀ

3.1 Concetto di complessità

Da tutto quanto precede dovrebbe essere evidente la stretta connessione tra approccio MAS e modellizzazione dei sistemi complessi. Analizzeremo il rapporto in questo paragrafo, a partire dalla precisazione della natura stessa della complessità.

Dell'idea di complesso sono state fatte una vera immensità di presentazioni, in un larghissimo numero di campi disciplinari²⁹, dando una pluralità di definizioni talora derivate da interpretazioni anche conflittuali³⁰.

Preferiamo, però, qui cominciare da una personale visione³¹ del concetto, radicata nel rapporto tra capacità cognitive e storia della scienza, perché - a nostro avviso – capace di riannodare la molteplicità delle predette definizioni.

Introduciamo, per illustrarla, una precisazione terminologica:

- *complicato* è ciò che non si capisce³²: il sistema complicato è percepito come costituito da troppi elementi e/o da relazioni troppo enigmatiche per essere compreso;
- *semplice* è ciò che si capisce³³: il sistema semplice è percepito come costituito da un numero piuttosto limitato di elementi e da relazioni “lineari”³⁴, tale da essere intelligibile;
- *complesso* (attenzione, qui antitetico a complicato e non suo sinonimo più dotto, come talvolta si usa) è, come il semplice, ciò che si può capire. In questo caso, però, il sistema è

²⁸ Tale rivoluzione nelle modalità del pensare è stata da qualcuno paragonata, come importanza, pari solo al passaggio dalla cultura orale alla cultura scritta. E così come ora sembrerebbe ridicolo dubitare della affidabilità (si veda la nota 25) del sapere scritto, è probabile (anzi, da diversi segni quali la cruciale dipendenza - non a tutti nota o percepita - della nostra intera società dall'informatica, azzarderei: è certo) che sempre più si darà credito, senza dubbi, alla nuova forma di pensiero.

²⁹ Dalle scienze umane alle scienze dell'artificiale e della natura. Tra le presentazioni più prossime alle scienze del territorio si può vedere: Bertuglia C.S. e Vaio F. (2003).

³⁰ Ci pare di poter raggruppare le presentazioni in due grandi categorie:

- a. quelle più attente agli aspetti fenomenici (auto-organizzazione, imprevedibilità ...);
- b. quelle più orientate alle radici del fenomeno (non-linearità, sinergie ...) con una prevalenza delle prime nei settori umanistici e delle seconde negli altri.

Si può aggiungere che la famosa barzelletta del battibecco tra due scienziati (Tu non capisci cosa è la complessità! No, la complessità è quello che tu non capisci!), più che ad una filosofica diversa visione - realista o nominalista - della realtà, corrisponde al confronto tra le due predette ottiche.

³¹ Infuenzata senza dubbio dal pensiero di Lewis Mumford (1961).

³² E' anche nel linguaggio comune la frase: Non capisco, è troppo complicato.

³³ Sarà capitato a tutti di sentire dire da uno che sa a chi non sa: Come, non capisci? Ma è così semplice!

³⁴ Usiamo, qui, questo termine come sinonimo – come talvolta si fa - di relazione logicamente chiara (come è, ad esempio, un rapporto di diretta proporzionalità tra causa ed effetto - relazione lineare, appunto -).

percepito come costituito da non pochi elementi e da relazioni non facili da intendere, ciononostante restando comprensibile. E' la situazione che si può riconoscere nei costrutti umani, particolarmente in quelli più evoluti (artefatti tecnologici o creazioni artistiche, che siano), che, complicati per i più, sono comunque perfettamente capiti dai loro fabbricatori³⁵.

Per sua natura, di primo acchito, il mondo tutto ci appare sempre come complicato³⁶. E perciò nel passato, elevando a metodo - conscio e dunque controllato - quello che sempre è stato un vantaggio evolutivo (il desiderio di capire ed i conseguenti processi *naïf* di cognizione, propri del sapere comune), la scienza classica ha codificato le procedure di “semplificazione” della realtà³⁷, cioè di comprensione della stessa (figura 3.1).

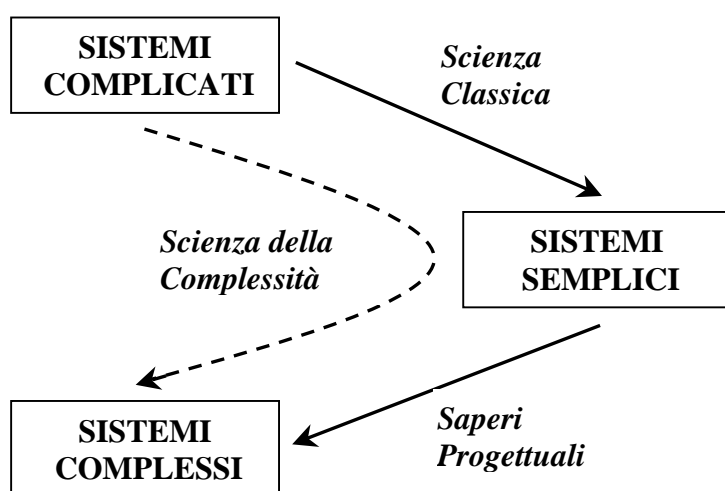


Figura 3.1 Relazione tra scienza classica, saperi progettuali e scienza della complessità.

³⁵ Pensate, ad esempio, al vostro cellulare, ma anche se volete al vostro videoregistratore DVD, allo Space Shuttle, al museo Guggenheim di Bilbao o ad un quadro di Magritte. Quasi certamente vi sembrerà molto *complicato* (il come è fatto, o come funziona). Ma ciò non è per chi lo ha creato che, conoscendone gli elementi ed i principi costitutivi, ne ammetterà solo la complessità.

³⁶ Sarebbe più esatto ma meno comprensibile dire: per definizione. Sarebbe infatti un paradosso il sapere già prima di capire (fatta salva la conoscenza -tacita- iscritta nei geni).

³⁷ Più correttamente: di passaggio da una percezione complicata ad una percezione semplice di aspetti della realtà. E fondamentale in questo passaggio è l'accettazione che la seconda sia inevitabilmente una approssimazione (sia essa il modello mentale del fenomeno o le rappresentazioni di questo con qualsiasi modalità) della realtà “vera”. Due approssimazioni sono infatti, come è ben noto, alla base del metodo scientifico classico:

a. il principio di riduzione, ossia la possibilità di considerare il sistema totalmente disgiunto dal suo ambiente. Il riduzionismo si esplicita poi in varie forme: la separazione tra sistema ed osservatore, il principio di causalità stretta, il totale come somma delle parti ...

b. l'ipotesi di equilibrio che, rispetto al procedere incontenibile ed irreversibile del tempo, può essere vista come equivalente al riduzionismo.

Nello stesso tempo, i saperi progettuali^{38 39} hanno analizzato quella capacità, pressoché unica del genere umano, di costruire artefatti (cioè entità artificiali, non già presenti in natura) sia per fini utilitaristici (come i manufatti tecnologici) sia per godimento dello spirito (come le opere d'arte). Alla base di questi saperi c'è la consapevolezza che “opportunamente assemblando”^{40 41} componenti elementari con specifiche funzioni si può ottenere una entità globale con altre funzioni percepite come meno semplici di quelle dei costituenti. I saperi progettuali sono quindi, parafrasando quanto detto per la scienza classica, il processo di “complessificazione” della realtà, di comprensione della stessa nella specie di realtà complessa, anziché semplice (figura 3.1).

In questa prospettiva, ora, la nuova scienza della complessità si propone come unificatrice⁴² dei due processi in un passaggio globale da complicato a complesso⁴³.

Due questioni devono essere affrontate a questo fine⁴⁴:

- passare dai saperi progettuali ad una vera scienza della progettazione, che spieghi l'essenza del metodo: l'atto inventivo/creativo⁴⁵. E poiché si danno, a livello generale, solo due oggetti per questo genere di studio, la creazione naturale e l'invenzione culturale⁴⁶, è nei risultati di chi ha analizzato questi processi (gli evoluzionisti) che si può trovare la risposta. L'evoluzionismo⁴⁷ è, dunque, il fondamento di questa nuova scienza;

³⁸ Ci riferiamo, ovviamente, a tutte le ingegnerie ed a tutte le arti; ma anche a tutte quelle altre discipline - umanistiche e non - dove invenzione o creatività sono il cuore della disciplina stessa.

³⁹ Adoperiamo il termine saperi, anziché scienze, perché solo di recente è stata cominciata - in modo significativo - l'analisi dell'*essenza metodologica* dell'atto progettuale. Difatti le cosiddette “scienze del progetto” approfondivano per lo più la sola funzione delle scienze analitiche nella costruzione del progetto, rimandando ad una inesplorabile “dote” individuale del Progettista l'aspetto creativo del progetto stesso.

⁴⁰ Il che vuol dire che il progettista *sa* come procedere e cosa succede unendo gli elementi.

⁴¹ Non si intenda questa operazione solo in senso meccanico. Può essere, ad esempio, anche la *composizione logica* di un'opera artistica.

⁴² Da intendersi come integrazione più che somma (sequenza) dei due passi.

⁴³ Ci sembra che vi siano due ordini di evidenze empiriche a supporto dell'interpretazione di scienza della complessità che proponiamo:

- a. la diffusa tendenza alla “ingegnerizzazione” di discipline tradizionalmente analitiche (un esempio paradigmatico è la chimica che sta sempre più spostando il suo focus dallo studio della costituzione delle molecole alla invenzione di nuove);
- b. il diffondersi, in scienze classiche, della adesione al paradigma evoluzionista. E l'evoluzionismo, come si può vedere subito sopra nel testo, riconduce direttamente alla complessità.

⁴⁴ E' bene precisare che, allo stato attuale, queste questioni sono state impostate, hanno ricevuto proposte di risoluzione che sembrano valide, ma non risultano definitivamente chiuse. Peraltro la scienza della complessità è giovane, aperta a nuovi sviluppi e, quindi, lungi da una definitiva sistematizzazione.

⁴⁵ Per quanto nel passato un poco trascurate, le teorie dell'invenzione (e della creatività), da chi per primo ha affrontato la questione a chi di recente ha studiato l'automatizzazione del processo creativo, hanno una storia riconosciuta ora come di rilevante interesse. La si può approfondire a partire ad esempio da Gelernter (1994) o Boden M. A. (1992).

⁴⁶ Poiché l'uomo è parte della natura, è logico pensare che, pur con sue peculiarità (peraltro accertate: ad esempio, la possibilità di evoluzione lamarckiana delle idee), l'evoluzione culturale segua meccanismi simili a quelli dell'evoluzione naturale. Studi specifici sui fenomeni di evoluzione culturale sembrano confermare questo assunto. Si veda ad es. in economia, per l'innovazione tecnologica, la teoria di Nelson R. e Winter S.G. (1982).

⁴⁷ Nelle sue interpretazioni più evolute ed anche nella ricchezza delle contrastanti posizioni di pensiero. Per chi desiderasse entrare nella materia, suggeriamo, ai due estremi, o il poderoso tomo di Gould S. J. (2004) o l'agile capitolo 3 di Casti J. L. (1991).

- capire come sono combinate scienza classica (il momento analitico dei sistemi complicati) e scienza della progettazione (il momento sintetico da sistema semplice a complesso)⁴⁸. Per coerenza logica con tutta la teoria qui presentata, questa questione non può essere risolta che in una prospettiva evoluzionista: analisi e progetto *co-evolvono*, nel senso che, come sempre c'è dell'analisi dentro il progetto, così *ci sono* aspetti di progettualità in ogni analisi⁴⁹ (e queste relazioni bidirezionali - multiple per aspetti e livelli di interazione - possono essere - è ovvio - dinamiche).

Si può osservare che nella precedente presentazione della scienza della complessità trova naturale collocazione la nota tipologia di sistemi codificata da Weaver (1958).

Relazioni	Lineari	Non-lineari
Poche	Sistemi semplici (<i>tipo Weaver 1</i>)	Sistemi di complessità disorganizzata (<i>tipo Weaver 2</i>)
Molte		Sistemi di complessità organizzata (<i>tipo Weaver 3</i>)

Tabella 3.1 - Sistemi semplici e sistemi complessi secondo Weaver.

Questa classificazione ha il pregio di evidenziare il ruolo delle non-linearità delle relazioni (unitamente alla loro numerosità, rispetto agli elementi del sistema) come “radice”⁵⁰ della complessità⁵¹. Infatti gli studi sui sistemi complessi hanno messo in luce l'associazione alle non-linearità di molteplici processi considerati tipiche manifestazioni di complessità: sinergie, discontinuità e irreversibilità, biforcazioni e comportamenti caotici, autopoiesi, criticalità auto-organizzata ...

Una classificazione della complessità sul piano fenomenologico è dovuta invece a Edgard Morin (1990). Secondo il noto sociologo-filosofo francese, vi sono tre principi (tre grandi tipologie di manifestazioni di complessità) che possono aiutare a riconoscere la complessità stessa.

Il primo è il *principio dialogico*, che consiste nel mantenimento della dualità tra relazioni di complementarità e relazioni di antagonismo all'interno del sistema. Distante da quel

⁴⁸ Una questione di rapporto tra analisi (del problema) e sintesi (progettuale) che si ritrova puntualmente ogniquale si debba risolvere un qualche problema.

⁴⁹ Un aspetto esemplare è la scelta, ma sarebbe meglio dire, l'invenzione del modo di raffigurare il sistema in esame, in rapporto alle osservazioni disponibili.

⁵⁰ Nella nostra visione evoluzionista potremmo dire “genotipo”.

⁵¹ Si può segnalare anche il contributo della classificazione nell'evidenziare la sottoclasse dei sistemi a complessità disorganizzata che, a differenza dell'altra sottoclasse, risultano trattabili - in modo approssimato - con gli stessi metodi dei sistemi semplici (in particolare attraverso approssimazioni di tipo statistico, focalizzate sul comportamento “medio” del sistema).

“principio unico unificante”, alla cui ricerca ci hanno abituato i sistemi semplici, il principio dialogico confonde la nostra mente - segno di complessità -, anche se alla fine l’ “analisi complessa” del sistema ci mostra che questa dualità è non solo parte del sistema stesso ma sua componente essenziale⁵².

Il secondo *principio*, detto *di ricorso di organizzazione*, stabilisce che tra un sistema e le sue parti c’è spesso un rapporto di reciproca e circolare influenza: la parte condiziona il tutto, che a sua volta determina le caratteristiche della parte. E’ tipicamente il caso dell’individuo nella società: la società è prodotta dalle interazioni tra gli individui, ma a sua volta li condiziona fornendo loro la cultura, le convenzioni, il linguaggio⁵³. Si sancisce quindi una netta rottura con l’idea tradizionale di causa ed effetto, di struttura e sovrastruttura.

Il terzo principio, detto *principio ologrammatico*, stabilisce che, così come la parte è compresa nel tutto, anche il tutto è contenuto in ogni sua parte. Quest’idea è un superamento rispetto alle teorie riduzionistiche che “vedono solo”⁵⁴ le parti, così come rispetto alle teorie olistiche, che “vedono solo” il tutto; essa stabilisce che la conoscenza del tutto avviene attraverso quella delle sue parti e viceversa⁵⁵.

I tre principi sono, in modo evidente, intimamente collegati⁵⁶; e, nell’insieme, forniscono le basi per una concezione del mondo totalmente destrutturata, in cui non c’è la prevalenza dell’insieme sulle sue parti né quella delle parti sull’insieme, cioè un mondo in cui “il tutto è nella parte che è nel tutto” (per dirla con le parole stesse di E. Morin).

3.2 Complessità e MAS: relazioni

La concezione di complessità sopra esposta è anche quella soggiacente l’analisi dei sistemi secondo l’approccio multi-agente⁵⁷. Quindi la simulazione MAS si presenta come la modalità modellistica propria dei sistemi a fenomenologia complessa.

Per questo motivo diventa interessante esplorare i campi di applicazione dei sistemi multi-agente, mettendoli in relazione ai tre principi individuati da Morin. Tre grandi collegamenti si

⁵² Vi sono numerosissimi casi di dialogicità nei fenomeni territoriali. Qui, a titolo di esempio, ci basta citare il “dilemma” decisionale tra conservazione ed innovazione (nell’agire sul territorio) viste come azioni opposte ma, per altro lato, anche da considerare entrambe come necessarie o inevitabili.

⁵³ Non dovrebbe essere necessario documentare casi di “ricorso di organizzazione” nei fenomeni territoriali essendo caso particolare dei processi sociali. Ci piace però richiamare, come un esempio, che, nella pianificazione, le comunità locali interessate sono al tempo stesso soggetto attivo ed oggetto ricevente del piano.

⁵⁴ Meglio, focalizzano l’attenzione prevalentemente su.

⁵⁵ Anche per questo principio la casistica territoriale è vasta. Un bell’esempio è quello del *paesaggio* così come formulato nella nota Convenzione Europea di Firenze, 2000: esso “designa una determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni (*e questo è il tutto “contenuto” nelle parti, NdR*), il cui carattere deriva dall’azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interazioni (*e queste sono le parti costitutive del tutto, NdR*)”.

⁵⁶ Essi sottolineano, per un lato, aspetti diversi della complessità. E, da un altro lato, essi si rinviano direttamente l’un l’altro.

⁵⁷ In termini banalizzanti, quindi parziali ed approssimati ma utili alla comprensione, l’associazione può essere derivata dalla duplice corrispondenza (segno: \Leftrightarrow): sistemi multi-agente \Leftrightarrow evoluzionismo \Leftrightarrow complessità

segnalano a questo proposito: tra connessionismo e principio dialogico, tra rapporto individuo - insieme e principio di ricorso di organizzazione e tra relazione micro-macro e principio ologrammatico.

Connessionismo (strutture a-gerarchiche). Un tema trasversale a gran parte delle applicazioni multiagente è quello della mancanza di una stretta gerarchia tra gli elementi del sistema.

I singoli agenti (o le organizzazioni in cui essi si riuniscono) sono infatti legati da relazioni prevalentemente funzionali, cioè determinate dalla necessità di svolgere i compiti stabiliti, ma come tali soggette a variazioni e non rispecchianti una “catena di comandi” rigidamente gerarchizzata. Questo non significa che non vi siano rapporti di subordinazione tra agenti o gruppi di agenti, ma semplicemente che essi non implicano la presenza di una struttura rigida di compiti e mansioni. Quanto descritto è il connessionismo, termine/concetto che esprime la presenza nel sistema, dal punto di vista logico, di una struttura “reticolare”, in cui la sede dell’intelligenza⁵⁸ dell’insieme non è identificabile in uno specifico nodo della rete (o nel loro banale totale), ma “emerge” nel momento in cui la rete prende forma^{59 60}.

La visione connessionista dei MAS permette di rappresentare quella vasta gamma di situazioni reali in cui i rapporti tra gli individui non sono determinati a priori, ma si sviluppano seguendo percorsi di auto-organizzazione. In questo senso ci si riferisce al *principio dialogico*: la contraddizione tra l’apparente presenza di un’intelligenza che regola il sistema, e la reale assenza di qualsiasi entità che presieda al funzionamento del sistema, è risolta identificando la sede dell’intelligenza del sistema con la sua struttura emergente.

Un esempio notevole di questa tipologia di problemi è quello di agenti⁶¹ motivati ad esercitare il controllo sociale sui propri simili, convincendoli ad osservare determinate norme (Conte e Dignum, 2001). Le norme sono inizialmente in numero limitato e stabilite a priori (o dedotte dagli stessi agenti “controllori” osservando il comportamento degli altri). La motivazione degli agenti può essere la ricerca della propria soddisfazione⁶²; certo non è nelle intenzioni degli agenti “controllori” ispirare la comunità a dotarsi di nuove norme. Ma, di contro, questo è proprio ciò che accade, perché comportamenti condivisi e vantaggiosi assurgono al ruolo di norme (nel momento in cui la larga maggioranza degli agenti vi si adegua). Si crea così un sistema normativo spontaneo che regola il sistema e che può essere apparentemente visto come il risultato di un’intelligenza superiore che abbia come obiettivo il bene comune.

⁵⁸ Il termine “intelligenza” ci pare che bene renda l’idea di comportamento “espressivo” sul piano logico. E questo vale in particolare quando, come spesso accade, l’insieme è una organizzazione di agenti umani.

⁵⁹ Cioè, si dispiegano le interazioni tra agenti.

⁶⁰ Questa ottica “connessionistica” dei MAS trova una applicazione particolarmente significativa nel campo informatico. Difatti si è sviluppata molto l’Intelligenza Artificiale Distribuita (DAI), in contrapposizione all’Intelligenza Artificiale (AI) classica basata su strutture gerarchiche ben definite, con approcci connessionistici nel software (ad esempio, reti neurali) o nell’hardware (ad esempio, processori “paralleli”).

⁶¹ Il riferimento preferenziale è ad agenti umani. Quindi per noi l’esempio è anche di particolare interesse per le sue possibili interpretazioni territoriali.

⁶² In termini di prestigio e/o di beneficio (riduzione dei costi), in quanto l’osservanza delle norme da parte di tutti porta alla riduzione dell’inefficienza sociale.

Rapporto individuo - organizzazione (insieme di individui). La seconda grande tematica che si osserva nelle applicazioni multiagente è attinente al complesso rapporto tra individuo ed organizzazione (il suo insieme di appartenenza)⁶³.

In tutti queste simulazioni il singolo agente, si noti, è sempre il risultato di una modellizzazione il cui scopo di fondo è però quello di rappresentare il sistema (attraverso la considerazione di molti agenti). Per quanto ogni agente possa essere individualmente caratterizzato (potremmo dire “dotato di personalità”), il suo operare acquista significato solo in un mondo (l’organizzazione) in cui vi sono altri agenti a lui più o meno simili. Potrebbe così nascere il problema di stabilire se l’agente sia all’origine dell’organizzazione o se invece non sia solo un suo elemento costitutivo la cui descrizione dettagliata potrebbe - al limite - non essere neppure indispensabile per comprendere il funzionamento dell’organizzazione stessa. Messo in questi termini, si tratta però di un problema “mal posto”, in quanto entrambe le ottiche rispecchiano le intenzioni di chi crea il sistema multi-agente: l’organizzazione è pensata in modo astratto⁶⁴ per risolvere un certo problema e, di conseguenza, ne vengono implementati gli agenti ritenuti adeguati; ma, d’altra parte, essi costituiscono l’elemento indispensabile che dà forma all’organizzazione, in modi spesso imprevisi e con conseguenze da verificare⁶⁵.

Da quanto precede ben si comprende come il *principio di ricorso di organizzazione* si applichi al rapporto individuo - insieme: l’effetto (l’organizzazione) è concausa di sé stesso, perché determina le caratteristiche degli agenti da cui l’insieme stesso trae forma e radici della sua evoluzione nel tempo.

Come esemplificazione, ritorniamo al precedente caso della emergenza delle norme nei sistemi sociali. Osservato che il *corpus* di norme può essere equiparato ad una organizzazione, abbiamo che:

- esse nascono perché, sotto la spinta di alcuni agenti motivati ad esercitare una azione di “controllo”⁶⁶, una larga maggioranza di individui adotta comportamenti condivisi (e desiderabili perché vantaggiosi);
 - d’altra parte, le norme sono per definizione vincolanti (meglio, fortemente orientanti) a comportamenti “conformi alla regola” (cioè, condivisi dalla pluralità degli agenti);
- quindi coercizione esercitata dalle norme e *desiderata* degli agenti sono mutuamente concause.

⁶³ Adottiamo qui una terminologia particolarmente adatta ad agenti umani, perché difatti questo è il caso più comune. Ma le considerazioni devono essere lette con validità generale.

⁶⁴ Cioè ne è definita la struttura logica *potenzialmente* idonea alla soluzione del problema.

⁶⁵ Peraltro è questa l’essenza stessa della simulazione: verificare (nel senso proprio di validazione scientifica) l’evolversi di un sistema e il suo modo di strutturarsi, a partire da ipotesi e dati noti.

⁶⁶ E questa motivazione discende dal ruolo loro assegnato nella società. (Si noti che anche questo è un *ricorso di organizzazione* che intercorre tra individui e società)

Rapporto micro - macro. Un'ultima importante classe di problematiche in cui trovano applicazione i sistemi multi-agente è costituita dagli (spesso) intricati rapporti tra realtà (sistemi) a dimensione ridotta⁶⁷ e realtà più vaste⁶⁸.

La questione che, in questo caso, la simulazione multi-agente deve risolvere è che le relazioni, molte, non lineari e spesso mal definite tra le diverse parti del sistema impediscono una definizione inequivoca di ciò che è “micro” (la realtà ridotta) e ciò che è “macro” (la realtà vasta); o, equivalentemente ma detto in modo più orientato alle scale spaziali, di ciò che è “locale” e ciò che è “globale”.

La simulazione MAS “sbrogia la matassa” con una strategia in due mosse⁶⁹:

- attraverso l'assunzione di una pluralità di livelli di approccio al problema, con singole unità costituenti un'organizzazione che a sua volta può essere vista come componente unitaria nei confronti di organizzazioni di livello superiore. L'agente diventa così un “meso” livello di analisi, parte di un tutto e insieme di parti;
- e, rese leggibili⁷⁰ da questa visione “meso”, attraverso la considerazione delle influenze che l'agente può esercitare alle diverse scale, a seconda delle caratteristiche intrinseche degli agenti stessi e delle relazioni esistenti.

Il *principio ologrammatico* ben si applica, quindi, al rapporto micro - macro indicando come non vi sia una netta separazione tra i due livelli, bensì nella costituzione stessa di un agente siano già compresi il suo ruolo nell'ambiente e nei confronti degli altri agenti: il “micro - mondo” dell'agente (cioè la sua costituzione) è intimamente connesso al “macro - mondo” del sistema di cui l'agente è parte (il suo ruolo nell'ambiente e nei confronti degli altri agenti).

Per questa tipologia di problemi, più che un caso particolarmente esemplare, si può richiamare un vasto campo applicativo dei MAS, quello noto come “vita artificiale”: dal più semplice, il celeberrimo “gioco della vita” di Conway, agli svariati sistemi di automi (agenti) auto-riproducenti, ai complessi ecosistemi digitali in grado di evolvere, tutti condividono alla loro base i meccanismi rigenerativi che rendono inscindibili individuo e società⁷¹.

⁶⁷ Come può essere un piccolo gruppo di agenti (o, al limite, un singolo agente).

⁶⁸ Come può essere una grande organizzazione di agenti creatasi per un dato scopo (o l'intero sistema di agenti).

⁶⁹ La logica è quella della decostruzione e ricostruzione (della analisi e sintesi) congiunte, propria della nuova scienza della complessità (vedasi al punto 3.1 che precede).

⁷⁰ Possiamo in qualche modo dire che il meso-livello semplifica il rapporto micro - macro, che può essere poi ri-articolato dalla considerazione di tutte le interazioni che si ritengono necessarie a non perdere la complessità del sistema.

⁷¹ La problematica territoriale del rapporto tra localismo e globalizzazione ben si inquadra in questo caso. La complessità della lettura dei fenomeni e dei processi in oggetto sovente induce, di primo acchito, a vedere contrapposti locale e globale. Ma una più attenta rilettura degli stessi, secondo l'ottica “meso” sopra presentata (un approccio che si sta ora imponendo con il nome di *glocale*), può ribaltare la conclusione fino a sottolinearne - per certi aspetti - una complementarità, necessaria alla esistenza di entrambi i termini.

4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Auerbach F. (1913) Das gesetz der bevölkerungskonzentration, *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 59, 74-76.
- Bertuglia C.S. e Vaio F. (2003) *Non-linearità, caos, complessità*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Boden M. A. (1992) *The creative mind*, Basic Book, New York.
- Cascetta E. (1990) *Metodi quantitativi per la pianificazione dei sistemi di trasporto*, CEDAM.
- Casti J. L. (1991) *Paradigmi perduti*, Edizioni di Comunità, Milano.
- Conte R. e Dignum F. (2001) From Social Monitoring to Normative Influence, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 4, n° 2.
- Darwin C. (1859) *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, Murray, Londra.
- Gelernter D. (1994) *The muse in the machine*, The Free Press, New York.
- Gould S. J. (2004) *La struttura della teoria dell'evoluzione*, Codici, Torino.
- Harris B., Wilson A. G. (1978) Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial interaction models, *Environment and Planning A*, 10, 371.
- Kuhn T. S. (1969) *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino
- Lowry I.S. (1964) *A model of metropolis*, RM-4035-RC, Rand Corporation, Santa Monica.
- Lowry I. S. (1965) A short course in model design, *Journal of American Institute of Planners*, 31, 158-166
- Morin E. (1990) *Introduction à la pensée complexe*, E.S.F. Editeur, Parigi.
- Mumford L. (1961) *Tecnica e cultura*, Il Saggiatore, Milano.
- Nelson R.R., Winter S.G. (1982) *An Evolutionary Theory of Economic Change*, The Belknap Press, Cambridge, Mass.
- Occelli S., Rabino G.A. (2006) Cognitive modelling of urban complexity, in Portugaly J. (ed.) *Complex Artificial Environments*, Springer Verlag, Berlino, 219-232
- Rabino G.A. (1998) Selected issues in urban planning, in Bertuglia C.S. e Bianchi G. (eds) *The City and its Sciences*, Physica Verlag, Heidelberg, 577-598.
- Weaver W. (1958) A quarter century in natural sciences, *Annual Report, The Rockefeller Foundation*, New York, pagg. 7-122.
- Wolfram S. (2002) *A new kind of science*, Wolfram Media.

ABSTRACT

This paper concerns some epistemological remarks upon multi-agent systems, suggest by the increasing applications of this methodology in systems simulation (in a large range of disciplines and namely in regional sciences: economy, sociology, territorial planning ...).

First of all, we contemplate three ideas of multi-agent system: the “formal” approach, related to the mathematical structure of the model; the epistemological approach, connected to the new scientific paradigm (the evolutionary paradigm); the computational approach, associated to the transition from an analytical solution to an algorithmic process to model a system.

The inadequacy of each single approach is shown. A right view of multi-agent systems is achieved only by a “sinergetic” consideration of the three approaches.

Then relations between MAS and science of complexity are analyzed in details.

It is argued that multi-agent simulation is the most appropriate tool for modelling this kind of systems, regarding three aspects (of particular relevance in complexity science): non-hierarchical structures (connectionism), relation individual – organization, micro – macro relation in system description.