
BOLLETTINO UNIONE MATEMATICA ITALIANA

MARIO LUCERTINI

I modelli della ricerca operativa nella realizzazione di processi decisionali attraverso agenti autonomi

*Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 8, Vol. 2-B (1999),
n.2, p. 243–250.*

Unione Matematica Italiana

[<http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_1999_8_2B_2_243_0>](http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_1999_8_2B_2_243_0)

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>

I modelli della Ricerca Operativa nella realizzazione di processi decisionali attraverso agenti autonomi (*).

MARIO LUCERTINI

Summary. – *This paper presents a critical view on the use of optimization models in production environment. Distributed decision process based on the concepts of autonomous agents is introduced in the framework of a deterministic optimization model. The modeling problems and the underlying theoretical background are briefly discussed.*

1. – Problemi di decisione e di ottimizzazione.

Un problema di decisione, nella sua versione più semplice, può essere posto generalmente in un formato del tipo:

Data: una regione ammissibile X appartenente a un assegnato spazio di decisione (per es. R^n).

Trova: un punto $x \in R^n$

Tale che: $x \in X$.

In molti casi può essere conveniente distinguere tra requisiti espressi in forma di equazioni o disequazioni da soddisfare (detti vincoli) e requisiti espressi come massimizzazione o minimizzazione di funzioni (detti obiettivi).

È interessante osservare che possono essere posti in questo formato (ovvero con vincoli espressi sotto forma di disequazioni) anche problemi espressi in

(*) Conferenza tenuta a Bologna il 15 maggio 1998 in occasione dell'Assemblea ordinaria dei Soci dell'U.M.I.

un formato apparentemente molto diverso: condizioni logiche, equazioni booleane di ogni tipo, espressioni logiche utilizzate nei sistemi esperti,...

Nel caso di un problema di decisione con un unico decisore che, sulla base di una sola funzione obiettivo, cerca la soluzione migliore, il problema può essere spesso posto nel formato detto di ottimizzazione:

$$\begin{array}{c} \min f(x) \\ x \in X \end{array}$$

Problemi in questo formato possono essere molto difficili da risolvere e solo per classi particolari di vincoli e obiettivi è possibile utilizzare per la soluzione programmi applicativi reperibili sul mercato o presso centri universitari. La ricerca di nuovi algoritmi sia di tipo relativamente generale, sia specifici per alcuni formati particolari del problema, è un tema di ricerca diffuso in molti settori della comunità scientifica e, in particolare, in quei settori che si riconoscono sotto la denominazione di Ricerca Operativa.

2. – I limiti della formulazione standard.

A prescindere comunque dalla difficoltà di risoluzione, vi è un problema di fondo che limita drasticamente la diffusione di questi strumenti nei diversi ambiti applicativi potenzialmente interessati.

L'idea dietro la formulazione sopra introdotta è che il decisore, prima raccoglie tutte le informazioni necessarie per la decisione, poi risolve il problema e quindi comunica la decisione presa a tutte le unità operative che, a questo punto, hanno solo il compito di implementare senza errori quanto deciso.

Vi sono indubbiamente alcuni casi in cui questo processo risulta efficace. In particolare, quando la prima e la terza fase sono praticamente assenti o relativamente semplici e la seconda risulta comunque affrontabile. Nella generalità però dei casi in cui sono coinvolte più unità organizzative, in cui vi è una forte interazione con l'ambiente e il problema globale viene in larga misura definito in corso d'opera, il processo sopra descritto risulta di utilità limitata, contribuendo tutt'al più alla messa a punto di un procedimento razionale per affrontare il problema.

Per fare un esempio legato ai sistemi di produzione che illustri quanto detto, si pensi al caso della *linea di produzione* introdotta da Taylor-Ford nella produzione manifatturiera.

Affrontando il problema in termini di ottimizzazione globale, si arriva a un risultato apparentemente paradossale: con l'introduzione di vincoli aggiuntivi sui flussi di parti (la linea è caratterizzata da una sequenza di stazioni di lavoro che possono essere visitate da una parte solo nell'ordine) si ottiene una soluzione migliore.

La prima linea di montaggio realizzata da Ford tra il 1911 e il 1916 ridusse in pochi anni il costo di produzione della Ford T a un settimo del valore iniziale.

Questo contrasta con il fatto che, se in un problema di ottimizzazione si aggiungono vincoli, la soluzione non può che peggiorare.

Il problema, ovviamente, è che, all'aggiunta di vincoli sui flussi fisici, corrisponde una sostanziale riduzione di vincoli organizzativi e relativi ai flussi informativi.

In altre parole, la realizzazione sopra delineata è difficile e, a tale scopo, è necessario tenere conto dei flussi di decisione e di informazione, e delle strutture organizzative che gestiscono il sistema. Essi necessariamente introducono vincoli aggiuntivi difficili da valutare a priori e da gestire globalmente.

Molti ricercatori nel corso del tempo si sono posti il problema di costruire un approccio ai modelli di decisione più aderente alle effettive esigenze delle applicazioni, rimanendo, nei limiti del possibile, teoricamente rigoroso. In vari settori dell'economia e dell'ingegneria si sono sviluppate procedure per trattare problemi di decisione con informazione limitata, con più criteri di valutazione e scelta, con più decisori, sia con obiettivi conflittuali, sia con spirito cooperativo.

3. – Gli agenti autonomi.

Il caso in cui nel sistema in esame vi siano più unità organizzative, capaci di operare con una certa autonomia e che condividono alcuni obiettivi generali, è uno dei più interessanti, in quanto permette di mettere in luce alcuni aspetti di grande rilevanza che caratterizzano le organizzazioni complesse.

Un primo aspetto è quello legato all'informazione limitata, che, in questo caso, non significa tanto assenza totale di informazione, ma piuttosto presenza di informazioni presso unità organizzative diverse da quelle che hanno l'esigenza di utilizzarla.

Si pone quindi un problema di individuazione di quale sia l'informazione utile da trasmettere, di diffusione dell'informazione in tempo utile per le decisioni da prendere, di modalità con cui realizzare tale diffusione e di costo da affrontare per ottenere questo risultato.

Si osservi che l'informazione utile da trasmettere non è solo quella relativa allo stato del sistema, ma anche quella relativa al coordinamento delle azioni intraprese dai singoli attori.

Per evitare uno scontro a un incrocio, gli automobilisti non basta che abbiano una visione complessiva della situazione, ma devono anche mettersi d'accordo su chi passa per primo.

Per evitare un tale complesso scambio di informazioni, il progettista del sistema potrebbe introdurre vincoli comportamentali aggiuntivi che eliminano la necessità di un coordinamento, per es. «la precedenza va data a chi proviene da destra».

In questo modo però si introducono vincoli aggiuntivi, non necessari in linea di principio per il funzionamento del sistema, che possono irrigidirne senza reali vantaggi il funzionamento e peggiorare sensibilmente le prestazioni.

Un secondo aspetto è quello legato al rapporto tra obiettivi/vincoli globali e locali. Supponendo, in un contesto cooperativo, di poter scegliere gli obiettivi e i vincoli locali, come effettuare tale scelta in modo che i vincoli globali siano comunque soddisfatti e gli obiettivi globali realizzati?

Il problema di garantire localmente il rispetto di vincoli di compatibilità globali è talmente importante che, spesso, vengono introdotte particolareggiate regole di comportamento locali, ignorando quasi completamente la bontà della soluzione.

Molte organizzazioni di tipo gerarchico in genere più lente e inefficienti nel rispondere alle sollecitazioni dell'ambiente, trovano una loro giustificazione proprio nella necessità di garantire tale compatibilità.

Un terzo problema riguarda l'articolazione stessa del sistema.

Quali unità organizzative è opportuno prevedere e con quale potere decisionale affinché il sistema possa funzionare in modo semplice, efficiente ed efficace?

Quali eventuali altri organismi, senza potere decisionale, è opportuno prevedere per guidare le decisioni nella direzione migliore per le finalità globali?

Per es., nell'esempio stradale utilizzato sopra, cartelli indicatori prescrittivi di determinati comportamenti (per es. «dare la precedenza a destra») o informativi sullo stato del sistema (per es. «prossimità a un incrocio con una determinata geometria»).

Oppure centri per depositare, prelevare e diffondere in modo anche selettivo le informazioni (per es. cartelli stradali controllati a distanza con indicatori sullo stato del traffico lungo determinati percorsi o colonnine per la segnalazione di guasti lungo le autostrade).

4. – Una formulazione orientata agli agenti autonomi.

Cercando di esprimere formalmente quanto detto, si ottiene una formulazione del problema di decisione del tipo:

<i>Dati:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – uno spazio di decisione D; – una funzione globale di utilità u; – un insieme di vincoli globali $\Omega \subset D$; – una dimensione massima d dei problemi che è possibile risolvere in modo adeguato.
<i>Trova:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – la rete R di collegamento fra centri di decisione, centri operativi ed eventuali stazioni intermedie; – la partizione π delle variabili di decisione fra i centri; – i flussi di informazione f sulla rete R (sia f_i il vettore dei flussi che arrivano nel centro i); – i vincoli ai processi di decisione locali Ω_i; – le funzioni obiettivo locali c_i; – le decisioni locali x_i;
<i>Tali che:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – il problema $L_i: \min c_i(f_i, x_i), x_i \in \Omega_i(f_i)$ abbia dimensioni minori di d; – la soluzione x_i^* di L_i sia relativamente facile da trovare; – l'insieme delle soluzioni locali produca una soluzione globale $x^* \in \Omega$ (ovvero, globalmente ammissibile) e tale che $u(f, x^*)$ sia ottima (o comunque superi un assegnato livello di soglia).

Nella formulazione sopra riportata sono i vincoli dimensionali sui problemi affrontabili che portano al decentramento e quindi alla necessità di uno scambio di informazioni.

Sia i vincoli, sia gli obiettivi locali, dipendono dalle informazioni scambiate

con gli altri agenti. Sono tali informazioni che consentono di ottenere localmente il rispetto di vincoli di compatibilità e di condizioni di efficienza/efficacia globali.

In effetti, i vincoli dimensionali, sono un modo molto approssimativo per evidenziare una serie di problemi, in parte esaminati nel paragrafo 2, che vanno dalla possibilità di formulare correttamente a priori il problema, a quella di raccogliere adeguatamente le informazioni necessarie alla soluzione, a quella di implementare, senza la necessità di ulteriori interventi, quanto deciso.

Un altro modo, altrettanto approssimativo ma più semplice e spesso più efficace per tenere conto della stessa cosa, è quello di decidere a priori, sulla base di semplici considerazioni dimensionali e di merito, in quante parti si vuol dividere il sistema ed, eventualmente, quali decisioni vanno attribuite a ogni parte.

Queste formulazioni sono molto più complesse e meno ben definite delle precedenti.

La costruzione di un algoritmo di soluzione, per un problema di ottimizzazione standard, avviene generalmente in un contesto metodologico e di strumenti utilizzabili relativamente ben definito e strutturato. Vi sono in genere delle procedure che è possibile seguire per la costruzione dell'algoritmo e buoni punti di riferimento per giudicare la qualità della soluzione ottenuta.

La definizione invece di un processo decisionale decentrato, richiede il progetto di una rete, di una serie di problemi di ottimizzazione locali, delle modalità con cui avvengono le interazioni fra i centri, ... Si tratta di scelte per cui non esistono procedure assestate ed è richiesta una notevole dose di creatività.

Problemi particolari che si pongono in questo contesto sono fra gli altri, quelli dell'informazione minima e della modularità.

Il problema dell'informazione minima è del tipo: quale è il quantitativo minimo di informazione che è necessario scambiare per poter, almeno in linea di principio (ovvero con una adeguata implementazione), soddisfare assegnati requisiti (per es. il raggiungimento di un determinato livello di prestazione globale)?

Al variare del livello di prestazione richiesto, cambierà la quantità di informazioni da scambiare e sarà possibile valutare a che punto conviene collocarsi.

Il problema della modularità è del tipo: quali livelli di prestazione è possibile raggiungere imponendo che tutti i problemi locali siano uguali fra loro, eventualmente da selezionare fra un numero limitato di possibilità e la rete di collegamento abbia una struttura regolare e ripetitiva (per es. con maglie uguali interconnesse).

Una struttura modulare, oltre che più semplice da realizzare, consente in genere sostanziali economie di gestione e ha una maggiore affidabilità.

5. – Gli aspetti dinamici.

Quanto visto nei paragrafi precedenti rimane comunque sempre un approccio di tipo *proattivo*, in cui cioè vengono anticipati e risolti e priori tutti i problemi che possono insorgere in fase attuativa. Non si dà quindi apparentemente una risposta a una delle più rilevanti critiche fatte nel paragrafo 2 ai modelli standard di ottimizzazione: la necessità di procedere per adattamenti successivi. In effetti, uno dei maggiori vantaggi degli agenti autonomi è proprio quello di dare luogo a una struttura articolata, in grado di reagire a sollecitazioni esterne e di adattarsi a condizioni di funzionamento impreviste, in modo da soddisfare, per quanto possibile, almeno alcuni obiettivi parziali.

Vi sono delle modalità tipiche con cui può funzionare il processo adattivo.

Uno, più semplice, in cui la struttura del problema locale non cambia, ma il suo comportamento si adatta ai diversi input cercando di perseguire obiettivi assegnati.

Una seconda, più complessa, in cui la struttura viene modificata in funzione di quanto accade, sia modificando il valore di alcuni parametri, sia introducendo nuovi elementi funzionali resi necessari dall'evoluzione della situazione.

Un modo per rappresentare il funzionamento di tipo adattivo consiste nel supporre che vincoli e obiettivi locali varino nel tempo in funzione delle informazioni in arrivo.

Il problema $L_{it}(f_{it-1})$ relativo al centro i e al tempo t è quindi caratterizzato da una soluzione ottima

$$x_{it}^* : \quad \min c_{it}(f_{it-1}, x_{it}),$$

$$x_{it} \in \Omega_{it}(f_{it-1}).$$

Tale soluzione contribuirà a formare la soluzione globale x_t^* al tempo t .

La formulazione del paragrafo 4, scritta per semplicità nel caso in cui sia fissata a priori l'architettura e non varino nel tempo obiettivi e vincoli globali, diventa quindi del tipo:

Dati: $D, u, \Omega, R, \pi, f_t'$

Trova: $f_t = f_t' \cup f_t'', \{\Omega_{it}\}, \{c_{it}\}, \{x_{it}^*\}$.

Tali che $\forall t$:

- x_{it}^* sia soluzione di $L_{it}(f_{it-1})$;
- x_{it}^* sia relativamente facile da trovare;
- $x_{it}^* \in \Omega$;
- $u(f_t, x_t^*)$ sia buona.

L'idea dietro questa formulazione è che i decisori effettuino le loro scelte progressivamente nel tempo, man mano che nuove informazioni arrivano.

f'_i rappresenta le informazioni che arrivano dall'esterno del sistema, inclusi eventuali disturbi.

f''_i rappresenta le informazioni che viene deciso di scambiare sulla rete R .

f_i rappresenta le informazioni totali che circolano effettivamente nel sistema, eventualmente soggette a disturbi e/o incoerenze di vario tipo.

6. – Conclusioni.

In questa breve presentazione si è cercato di delineare alcuni sviluppi in corso nei settori dei processi decisionali e dell'ottimizzazione, al centro degli interessi della Ricerca Operativa.

Il tipo di ricerca analizzato richiede l'uso di strumenti concettuali che, pur rientrando genericamente nella matematica applicata, sono diversi da quelli tipici della ricerca matematica tradizionale.

L'approccio, pur con minori tradizioni e consolidamento dei concetti e degli approcci, è più vicino per certi aspetti a quello della ricerca fisica, in cui vi sono molte teorie, non sempre del tutto coerenti, che spiegano, con vari livelli di approssimazione, vari segmenti di realtà, e spesso è il fatto sperimentale che dimostra la correttezza di una particolare teoria, piuttosto che il rigore dello sviluppo metodologico.

Rimane una differenza legata agli obiettivi: quello della ricerca fisica è fondamentalmente la conoscenza, quello tipico dell'ottimizzazione è l'intervento. Per questo aspetto, il settore di ricerca più vicino a quello descritto in questa presentazione è quello relativo al processo di progettazione nell'ingegneria. In comune con esso ha il tentativo di costruire modelli concettuali quantitativi per la determinazione dei parametri di progetto, sulla base delle specifiche da realizzare, individuando le modalità operative di trasformazione delle grandezze in gioco, e verificando continuamente i risultati con misure sul campo o, ove possibile e conveniente, attraverso l'uso di modelli di simulazione.

In questa dialettica fra modello ed esperimento, l'unica prova certa di validità di un approccio, di un nuovo modello, di una nuova teoria, è la sua capacità di portare a realizzazioni migliori delle precedenti. E' però esperienza diffusa che approcci più rigorosi portano sempre a una maggiore consapevolezza delle relazioni causa-effetto, e, spesso, grazie a questo, a risultati migliori.

Dipartimento di Informatica, Sistemi e Produzione e Centro Volterra,
Università di Roma Tor Vergata