3. L'impresa come organizzazione e la funzione di produzione: un binomio impossibile

di Massimo Egidi

1. Premessa

L'idea di considerare l'impresa e il mercato come due organizzazioni che realizzano in forme differenti lo stesso compito, cioè il coordinamento delle azioni di differenti individui tra loro cooperanti, è al centro del celebre articolo di R. Coase *The Nature of the Firm*.

Nonostante l'influenza che questa idea ebbe fin dal suo sorgere, nel 1937, essa ha tardato mezzo secolo a trasformarsi in uno strumento analiticamente operante, ad assumere il ruolo centrale che attualmente svolge nell'ambito della teoria dell'impresa e dell'organizzazione.

I motivi di questo ritardo sono sostanziali: l'idea di Coase è in contrasto con alcune proposizioni chiave che venivano assunte tacitamente (fino agli anni settanta) nel modello neoclassico; in particolare essa contrasta con l'assunto che sia le transazioni che il calcolo razionale degli agenti abbiano esito certo e siano senza costo. Queste assunzioni apparentemente innocue, in realtà erano incoerenti nello stesso quadro neoclassico, in quanto in contraddizione con il principio di scarsità delle risorse: ma per rivederle criticamente occorreva non solo porre in discussione la nozione di razionalità e quella di scambio, ma pervenire ad una formulazione nuova di queste nozioni.

Le basi di questo sviluppo analitico furono poste con la teoria della razionalità limitata e procedurale, creata da H. Simon negli anni sessanta, e con la teoria dei fallimenti del mercato, sviluppata preminentemente da K. Arrow nel medesimo periodo, ben oltre la originaria formulazione di Pigou.

Da quel momento i progressi compiuti a partire dalla formulazione originaria del problema data da Coase ebbero una forte accelerazione, soprattutto con i lavori di Williamson, per arrivare ad Aoki ed altri ancora: nell'analizzare l'organizzazione interna dell'impresa, confrontando ed integrando la teoria del mercato con quella dell'organizzazione, questi autori hanno permesso di uscire dal tradizionale assunto neoclassico dell'impresa come «scatola nera» entro la quale non è dato esplorare con gli strumenti dell'analisi economica: ma restano irrisolti seri problemi nel campo della teoria della produzione, poiché nel momento in cui si indaga il funzionamento interno dell'impresa

come organizzazione, non si può evitare di porre implicitamente in discussione la nozione stessa di funzione di produzione.

La tradizione insegnava che si deve descrivere l'impresa come una unità decisionale unica, definita da una unica funzione di produzione che ne riassume tutte le caratteristiche.

In tal modo una funzione di produzione associata ad un'impresa costituisce una rappresentazione *aggregata* e sintetica di tutte le micro-relazioni, tecnologiche ed organizzative, interne all'impresa; ma se si guarda *dentro* all'impresa come organizzazione, ciò non è più sostenibile.

Se si suppone, con Coase, che i confini tra organizzazione e mercato possano mutare, si deve concludere che l'assetto, la dimensione e la forma organizzativa di un'impresa in un certo istante dipendono dalla struttura dei costi (dai costi attuali e dalla storia passata di costi e prezzi).

Ne segue che non è possibile dare una definizione meramente tecnologica dell'impresa (dell'impresa costituita da molti individui che cooperano), una definizione che escluda il rapporto tra impresa e il mercato nel quale essa opera.

Si può tentare di definire la nozione di unità produttiva, come unità che può essere definita tecnologicamente ed assimilata ad una «funzione di produzione» elementare, ma è incoerente assimilare questa nozione con la nozione di impresa, che rappresenta tutt'al più una forma organizzativa entro la quale vengono coordinate le attività di differenti unità produttive. Questo punto è stato sollevato e analizzato seriamente da Stigler e da Williamson, e verrà ripreso nel corso del presente lavoro.

Nel seguito si cercherà di riformulare il problema del rapporto tra produzione ed organizzazione in un contesto evolutivo, quando si assuma cioè che i confini tra mercato ed organizzazione siano una variabile e quindi che la forma tecnologica ed organizzativa di una impresa sia essa stessa oggetto di decisione. Si proporrà a tale scopo una rappresentazione formale del processo di generazione di nuove procedure o *routines* e su questa base si darà una definizione dell'impresa come organizzazione non completamente riducibile al mercato, in quanto capace – al contrario del mercato – di trasformare le sue proprie forme organizzative.

2. L'impresa come sistema di sintetizzazione dell'informazione e di coordinamento delle decisioni

Le basi analitiche e filosofiche dell'idea del mercato come organizzazione che realizza il coordinamento di individui che prendono decisioni indipendenti in una struttura decentrata erano già state tutte esplicitate negli anni trenta da Friedrich von Hayek [1937]; uno degli

obiettivi primari di questo autore, come è noto, era di affermare il primato del mercato decentrato sulla pianificazione centralizzata: ma anche l'impresa, come grande organizzazione gerarchica, funziona sulla base di una qualche forma di pianificazione e di accentramento decisionale. Essa dovrebbe dunque essere meno efficiente del mercato? Non mancano economisti che sostennero seriamente questa posizione [Monsen e Downs 1956].

Nell'articolo inizialmente citato Coase affronta la questione con un taglio che gli permette di eludere l'aspetto ideologico del problema, evitando di trattare la dicotomia mercato-organizzazione come alternativa pregiudiziale: egli infatti propone esplicitamente di considerare l'impresa come organizzazione alternativa al mercato ma si concentra sul problema di trovare quali siano e come cambino i confini tra le due forme organizzative.

Uno degli elementi distintivi che caratterizzano lo spostamento di questi confini è determinato dalla natura delle informazioni che si rendono necessarie per il coordinamento: Coase pone in rilievo il fatto che mentre nel mercato il coordinamento avviene attraverso il sistema dei prezzi, nell'organizzazione avviene attraverso segnali di quantità.

Per capire come variano i confini tra le due differenti forme organizzative è dunque necessario innanzitutto capire quale differente contenuto informativo hanno segnali di prezzo rispetto ai segnali di quantità: la strada tradizionale per affrontare il problema è stata di analizzare in quali condizioni i prezzi non sono in grado di sintetizzare tutta l'informazione.

Come è noto ciò ha dato luogo ad un notevole sviluppo della problematica dei fallimenti del mercato, inducendo a considerare le imprese come organizzazioni che esistono in quanto il mercato fallisce; se l'impresa esiste come risultato di un fallimento del mercato, è allora necessario spiegare per quali motivi i fallimenti di mercato siano così diffusi nell'economia decentrata di mercato, perché si riproducano in modo così sistematico da generare la crescita organizzativa delle imprese, e sotto quali condizioni la crescita si arresti, rendendo stabile il confine tra mercato ed organizzazione.

Per affrontare questi problemi occorreva poter operare un confronto di efficienza tra il coordinamento operato dal mercato e quello generato dall'organizzazione interna all'impresa.

L'ipotesi chiave nell'impostazione di Coase, è che i mercati abbiano dei costi di funzionamento, e che confrontando questi costi – o costi di transazione – con i costi organizzativi, si possa pervenire a comprendere le ragioni per cui l'impresa è più efficiente del mercato. Naturalmente, una volta accettata l'idea dei costi di transazione, occorreva comprendere l'origine di simili costi. Questa via è stata esplo-

rata, sviluppata da Williamson che amplia la nozione di transazione, ed opera un confronto statico tra i differenti modi di organizzare le transazioni che caratterizzano mercato e impresa.,

Per confrontare la efficienza di differenti forme organizzative è dunque necessario affrontare due problemi: innanzitutto capire se i prezzi sintetizzino effettivamente tutta l'informazione necessaria, ed in quali condizioni ciò non avvenga: più in generale occorre chiarire quale sia il ruolo dell'informazione e della conoscenza, e come queste vengano elaborate entro le organizzazioni.

In secondo luogo occorre affrontare il problema del coordinamento interno alle organizzazioni e comprendere meglio cosa contraddistingua il coordinamento operato dal mercato da quello operato dalle altre forme organizzative.

Nel seguito del paragrafo concentreremo il discorso sul primo dei due problemi, sostenendo che se si accetta l'ipotesi di incompletezza delle informazioni e razionalità limitata, si mostra che l'informazione necessaria allo svolgimento dell'attività economica non è completamente parametrizzabile, e quindi i fallimenti di mercato costituiscono un fenomeno sistematico ed ineliminabile.

Il problema posto da Coase è se altre forme di organizzazione differenti dal mercato, come l'impresa permettano di coordinare efficientemente scelte indipendenti; ma il compito del mercato, o di un'organizzazione è duplice: non solo coordinare le decisioni, ma raccogliere e sintetizzare l'informazione necessaria alla decisione: il coordinamento è possibile e può avere successo infatti in quanto gli individui ricevano tutta l'informazione rilevante; il problema è perciò se sia vero che il mercato, attraverso il meccanismo della concorrenza, è in grado di selezionare tutta e solo l'informazione rilevante e ridurla alla portata delle capacità individuali medie di calcolo e di ragionamento.

Gli individui dispongono, per natura stessa del funzionamento di un'economia decentrata, di una limitata parte delle informazioni che vengono trasmesse entro una organizzazione.

La scuola neoclassica austriaca, e specialmente von Hayek, hanno ampiamente sottolineato questo punto, sostenendo che proprio perché la conoscenza degli individui è frammentaria ed incompleta, è necessaria una istituzione che invii agli individui le informazioni rilevanti per decidere, e ne coordini le scelte [1].

Naturalmente se si suppone che la conoscenza degli individui sia limitata, si ammette implicitamente che ciò accada perché le capacità umane di acquisire informazione e conoscenza sono esse stesse limitate, e quindi l'assunzione di informazioni è costosa. Si perviene dunque per questa via a riconoscere necessaria l'ipotesi di razionalità li-

[1] Oltre ad Hayek [1937] [1988] si veda Arrow [1978].

mitata che peraltro è coerente con il principio di scarsità delle risorse; non è dubbio infatti che tra le risorse disponibili dobbiamo considerare la capacità di assumere, sintetizzare, selezionare ed elaborare informazioni.

Peraltro, se si accetta l'ipotesi di razionalità limitata, ci si accorge di una notevole incoerenza nell'impostazione tradizionale dello schema di equilibrio concorrenziale.

Nel modello di equilibrio infatti non tutte le informazioni di cui gli agenti debbono disporre sono regolate dal mercato: vi è una «base informativa» a cui gli agenti debbono poter accedere, che contiene informazioni sulle caratteristiche dei mercati stessi: e cioè informazioni sulla natura e qualità dei beni, sulla allocazione spaziale e temporale dei mercati, sulle tecnologie, sugli stati di natura: tutte informazioni che non vengono fornite dal sistema dei prezzi. Nel modello tradizionale si suppongono «dati».

Questo significa che i consumatori debbono conoscere tutti i mercati contingenti dei beni finali, tutte le caratteristiche utili di tali beni ed essere in grado di stabilire una relazione completa di preferenza tra tutti questi beni. Inoltre gli imprenditori debbono conoscere tutte le tecnologie disponibili (almeno in un determinato settore) e di tutti i mercati contingenti. Si tratta di un ammontare inaccettabilmente elevato di informazioni. Che accade se si suppone che gli agenti posseggono solo frammenti di queste informazioni? Radner [1968] ha mostrato che

> if economic decision makers have unlimited computational capacity for choice among strategies, then even if there is uncertainty about environment, and different agents have different information and different beliefs about environment, then one can apply the standard theorems on the existence and optimality of a competitive equilibrium.

L'ipotesi di limitata capacità di calcolo gioca dunque un ruolo cruciale: se la capacità di calcolo è limitata, le informazioni sono costose, e non si possono più considerare come dei «dati» del problema.

Che accada dunque se si abbandona l'ipotesi «eroica» che tutte le informazioni esogene necessarie siano «date»?

A causa del carattere locale delle conoscenze, si deve supporre che in generale non tutti gli agenti saranno in grado di accedere a tutte le informazioni necessarie. Le asimmetrie informative possono allora far sì che differenti agenti dispongano di opportunità molto differenti, il che può dar luogo a sistematiche disuguaglianze e differenziazioni nel possesso e nell'uso delle risorse, come accade nei fenomeni di speculazioni e anche nell'innovazione, o a comportamenti come l'opportunismo, illustrato da Williamson [1985, capp. I e II], che può

ripetersi sistematicamente in condizioni di razionalità limitata ed informazione localizzata.

Affinché l'informazione sia disponibile per tutti gli agenti, occorrerebbe che vi fossero agenzie di informazione che producono e vendono tutte le informazioni rilevanti relative ai mercati, ai beni, alle tecnologie.

L'esperienza ci mostra che non tutti questi mercati esistono, e che parte di quelli esistenti funzionano prevalentemente in modo distorto (cioè vendono informazioni incomplete o inaffidabili: si pensi al ruolo della pubblicità). Vi è una ragione profonda in ciò, e consiste nella natura peculiare dell'informazione e della conoscenza: come ha osservato Arrow, l'informazione non rispetta le caratteristiche che definiscono lo scambio di un bene tra contraenti privati: infatti essa è imperfettamente appropriabile, indivisibile ed imperfettamente valutabile. Inoltre essa non è producibile in condizioni di certezza del risultato, come un qualunque altro bene [Arrow 1971a].

Ciò fa sì che in molti casi non è conveniente produrre o non è conveniente vendere informazione, o perché essa è duplicabile e quindi rivendibile a prezzi che non riflettono i costi di produzione, o perché il possesso temporaneo di determinate informazioni permette vantaggi economici ai suoi utilizzatori, come nel caso dell'innovazione e della speculazione.

La conclusione è che in generale il numero effettivo di mercati in cui vengono vendute informazioni è molto basso: vi è incompletezza sistematica dei mercati, e dunque l'incapacità dei mercati di sintetizzare tutte le informazioni necessarie agli individui per permettere il raggiungimento di un equilibrio Pareto ottimo.

Ne segue che l'ambiente in cui normalmente l'agire economico si esplica è un ambiente non Pareto ottimale in cui il mercato non ha sintetizzato completamente l'informazione; l'agire umano mantiene dunque un carattere strategico e complesso in condizioni di incompletezza informativa.

Questo sistematico fallimento del mercato fa sì che diviene necessario spiegare quali altri mezzi alternativi abbiano a disposizione gli individui per sintetizzare le informazioni rilevanti e decidere sulla base di limitata capacità computazionale.

Il problema che si pone allora è duplice: da un lato comprendere come funzionino e come si costituiscono altre forme di organizzazione – differenti dal mercato – che permettano di selezionare l'informazione rilevante; e d'altro lato, indagare quali capacità occorre attribuire agli individui per potere svolgere il processo di sintetizzazione dell'informazione che essi debbono compiere entro l'organizzazione.

Va osservato infatti che se ammettiamo che entro l'organizzazione avviene un processo di sintesi e trasmissione dell'informazione rile-

vante, tenuto conto che l'organizzazione è una forma intenzionale, oggetto essa stessa di una scelta, di un progetto consapevole, occorrerà attribuire agli individui che vi partecipano (sia pure in differente misura), la capacità di progettare, di disegnare nuove forme di organizzazione in funzione della necessità di organizzare l'informazione.

Ne segue che, se da un lato attraverso l'ipotesi di razionalità limitata sembra che si attribuiscano agli individui minori capacità di quelle previste nel quadro tradizionale dell'agente massimizzante, in realtà agli individui si attribuisce una facoltà intellettuale assai più elevata della capacità di massimizzare: quella di organizzare le informazioni e le conoscenze secondo strutture conoscitive.

Per potere rappresentare in modo formale queste capacità, così come si è soliti fare per i processi di massimizzazione, essa verrà descritta come capacità di porre e risolvere problemi.

3. Il problem solving come generazione di nuove routines

Assumeremo condizioni di razionalità limitata e procedurale; ciò comporta l'attribuzione agli individui della capacità di sintetizzare l'informazione, formulare problemi e risolverli (o tentare di risolverli), in un ambiente in cui l'informazione è dispersa ed incompleta, e la sua elaborazione, costosa, richiede specializzazione e divisione del lavoro intellettuale.

La nozione di razionalità viene dunque assunta sotto una nuova ottica; il problema centrale non è più quello della scelta ottima in presenza di vincoli, perché l'insieme degli elementi su cui la scelta va effettuata è noto solo parzialmente. La questione è piuttosto di comprendere come si possa assumere ulteriore informazione, sintetizzare l'informazione rilevante e semplificare la complessità di calcolo.

La via più semplice per rappresentare questa capacità è quella di rappresentare il comportamento individuale come comportamento strategico. Poiché la teoria dei giochi fornisce un modello particolarmente semplice del comportamento strategico, lo ricordiamo sinteticamente: ad ogni agente, o giocatore, si attribuisce la capacità di rappresentarsi i differenti stati del gioco che conseguono dall'uso delle regole del gioco stesso a partire dalla configurazione iniziale. L'albero del gioco rappresenta l'insieme di tutte le possibili partite che un giocatore può rappresentarsi. I nodi terminali dell'albero rappresentano gli stati finali, le configurazioni in cui giunge il gioco quando termina, configurazioni cui corrisponderà un pagamento o in generale cui è associata una utilità per ogni giocatore.

Nell'analizzare il gioco, ciascun giocatore dovrà studiare in anticipo tutta la sequenza di mosse che compirà poi nel corso della partita; per ogni sua mossa dovrà prevedere tutte le risposte possibili degli

avversari; e dovrà scegliere, per ogni risposta degli avversari, una sua contro-contro-mossa. In tal modo egli elabora una strategia. Una strategia è dunque una parte anche cospicua dell'albero del gioco.

Se il numero di mosse che si compiono in ogni partita è basso, possiamo attribuire al giocatore la capacità di esplorare tutto l'albero del gioco per potere scegliere poi – se esiste – la strategia vincente. Ma ciò non è più possibile per giochi complessi.

In un ambiente di complessità decisionale l'individuo non è generalmente in grado di prefigurarsi in modo completo ed esaustivo tutte le opzioni alternative, e scegliere la migliore. La rappresentazione della situazione che egli può formulare sarà normalmente *incompleta* e locale.

Egli cercherà di esplorare le alternative di cui dispone sulla base di procedure di ricerca. Caratteristica tipica di queste procedure è che esse riducono l'analisi delle strategie, e quindi la complessità del calcolo, grazie all'uso di parametri, esattamente come il mercato, che riduce il carattere dell'agire individuale da strategico a parametrico mediante i prezzi. Il problema è che tale riduzione è solo raramente attuabile in modo completo, tale dunque da rendere perfettamente parametrico il comportamento umano.

L'esempio tipico di questa situazione è dato dal gioco degli scacchi: in questo gioco esiste una strategia vincente e vi è un preciso metodo per trovarla [2]: come è noto tale metodo richiede l'esame *completo* delle strategie del gioco, e quindi non è praticamente attuabile: è una tipica situazione di fallimento dei metodi che richiedono illimitata capacità computazionale.

Tuttavia negli scacchi il giocatore umano, usando una conoscenza incompleta e una capacità di calcolo limitata, riesce a vincere senza aver trovato la strategia migliore in senso assoluto: evidentemente dispone di un metodo *più potente* di quello, apparentemente perfetto, della razionalità globale.

Questo «metodo spontaneo» si fonda su di una riduzione del carattere strategico del gioco, ed una sua parziale parametrizzazione; i giocatori umani conducono l'analisi e la scelta della strategia su segmenti limitati dell'albero del gioco, man mano che la partita procede; essi esplorano le mosse e contromosse future orientandosi in funzione di valutazioni (soggettive) delle scacchiere future; si tratta di valutazioni che fanno riferimento ad indicatori quali: il numero di pezzi, i pezzi minacciati, l'occupazione del centro della scacchiera, eccetera. Questi indicatori costituiscono i parametri in base ai quali ogni giocatore opera, di mossa in mossa, la sua scelta strategica: si tratta di pa-

[2] Oltre al classico von Neumann [1945] si vedà, per una illustrazione elementare, Traktenbrot [1963, capp. 1 e 2].

rametri che orientano nella scelta della strategia, permettendo di concentrare l'analisi solo verso le situazioni che appaiono «più promettenti».

Due punti qui vanno posti in rilievo: la incompletezza sistematica dell'analisi che i giocatori conducono ed il carattere imperfetto e soggettivo dei parametri su cui essi si fondano. La strategia che i giocatori elaborano è infatti sempre incompleta, perché fondata sull'analisi di un numero limitato di mosse e contromosse; inoltre nel valutare la bontà delle posizioni che si raggiungono man mano che il gioco procede i giocatori non dispongono di criteri certi e condivisi, come avverrebbe se potessero esplorare completamente il gioco. La valutazione locale si fonda su criteri soggettivi, che vengono raffinati dall'esperienza, e che in genere sono differenti da giocatore a giocatore.

Ciò ha una conseguenza assai rilevante. Infatti l'analisi delle posizioni viene radicalmente semplificata eliminando le scelte proprie ed altrui che appaiono non buone sulla base dei parametri di valutazione. E poiché ogni giocatore valuta le posizioni con criteri differenti, è normale che le aspettative che ciascuno formula sulle mosse altrui possano venire smentite, cioè che l'avversario compia una *mossa inattesa*: anzi è tipico che in una partita, condotta in modo giudicato «equilibrato» da entrambi i giocatori fino ad un certo punto, all'improvviso avvenga la mossa inattesa che decide le sorti del conflitto.

Dunque: incompletezza conoscitiva, sorpresa e incoerenza delle aspettative caratterizzano il comportamento dei giocatori. Come accade che un procedimento così palesemente «imperfetto» sia più efficace della razionalità globale?

Per rispondere, osserviamo che il medesimo problema degli scacchi si presenta nel caso dei *puzzles*, con l'unica differenza che in tal caso la strategia del giocatore, che è orientata a raggiungere una determinata configurazione finale, non dipende da strategie poste in atto da altri giocatori o dalla natura: viene eliminata così quella parte dell'incertezza che dipende dal carattere interattivo della decisione.

Per individuare la soluzione del rompicapo il giocatore deve risolvere un problema che consiste nel raggiungimento della configurazione desiderata a partire dalla configurazione iniziale, mediante successive trasformazioni di stato. Nel cubo di Rubik, per esempio, si vuole raggiungere una configurazione «esteticamente bella» a partire da una qualsiasi configurazione iniziale *scrambled*, disordinata casualmente.

Come negli scacchi, una soluzione generale del problema ci sarebbe: esplorare esaustivamente tutte le posizioni fino a trovare quella desiderata. Ma, come negli scacchi, si tratta di un procedimento praticamente inattuabile per il numero estremamente elevato di stati del gioco che devono essere generati ed esaminati.

Dunque: alcuni giochi e *puzzles* pongono problemi di impossibili-

tà alla esecuzione pratica degli algoritmi risolutivi. Tuttavia ci accorgiamo che mentre per gli scacchi non è stato finora possibile parametrizzare perfettamente il gioco, poiché come si è visto i parametri sono soggettivi ed imperfetti, per il cubo di Rubik è stato possibile trovare un algoritmo risolutivo specifico, grazie al quale il problema si risolve meccanicamente.

Il cubo, una volta trovate le regole per la soluzione, è passato di moda: il gioco infatti è ridotto ad una pura questione di velocità nella esecuzione di mosse perfettamente *routinizzate.*

I giocatori hanno imparato ad eseguire meccanicamente alcune sequenze tipiche e a combinare queste sequenze nel modo opportuno. Essi si comportano come macchine che, accettate come input la configurazione iniziale e la configurazione finale desiderata del cubo, eseguono alla massima velocità tutti i passi necessari per raggiungere tale configurazione (quindi non si divertono più).

Se attribuiamo agli individui razionalità limitata e procedurale, potremo rappresentare il loro comportamento come caratterizzato da una tra due differenti tipologie «estreme»: da un lato il comportamento di mera esecuzione delle *routines* (come quello dei giocatori del cubo di Rubik che già conoscono le regole di soluzione e le attuano meccanicamente); dal lato opposto il comportamento creativo ed esplorativo che consiste nella ricerca di nuove *routines*, nuovi modi di risolvere problemi.

Questa impostazione del problema del comportamento degli attori di un gioco si accorda con la nozione di *routine* proposta da Nelson e Winter [1982; Nelson 1982; Winter 1982], e ne propone una fondazione microanalitica; nella loro analisi l'impresa, lo ricordiamo, viene definita sulla base di un insieme di *routines*, cioè di procedure atte a risolvere compiti prefissati; l'attività dei componenti l'organizzazione consiste allora nella esecuzione coordinata di tali *routines*, ma soprattutto nella modifica continua delle *routines*, che vengono adattate alle mutate circostanze esterne.

4. Divisione del lavoro e risoluzione di problemi

Attribuire agli individui razionalità procedurale, significa supporre che essi siano in grado di attuare procedimenti di ricerca atti a ridurre il carattere strategico della loro azione e sintetizzare quindi l'informazione rilevante; il contesto più generale in cui si possono analizzare tali procedure di ricerca è il contesto del *problem solving*, di cui ora discuteremo.

Nel caso dei giochi o dei *puzzles*, l'obiettivo del giocatore è di trovare dei parametri di base ai quali scegliere la propria strategia. Ma come si è accennato, solo se è possibile esplorare l'intero albero

del gioco si possono associare a tutti gli stati del gioco stesso dei valutatori «esatti» che permettono di seguire la miglior strategia.

Nelle condizioni normali di elevata complessità del gioco, abbiamo visto che la tecnica «naturale» per giocare è fondata sull'idea di orientare la ricerca della strategia mediante parametri o indicatori *soggettivi* che sintetizzano in un punteggio le informazioni tratte dalla configurazione della scacchiera: negli scacchi ciò significa che si assegna un «punteggio» ad ogni stato (scacchiera) che viene generato, per stabilire quale è la direzione più promettente nella quale conviene proseguire. Non vi è alcun algoritmo formale per assegnare tali indicatori, ma solo l'esperienza di un gran numero di partite: rimane dunque il problema di come i giocatori siano in grado di sintetizzare l'informazione rilevante per ottenere parametri «esatti».

Il cubo di Rubik non viene analizzato con questa modalità, che si è dimostrata in questo frangente inefficace: nel caso del cubo infatti i parametri di stato potrebbero essere dati da indicatori che diano una misura della lontananza dello stato in esame da quello finale (per esempio contando il numero di tessere che sono già a posto); ebbene, si vede facilmente che indicatori di «distanza» fondati su parametri quale quello ora enunciato, cioè il numero di tessere già nella posizione desiderata, non permettono di avvicinarsi verso la configurazione desiderata.

Infatti, supponiamo che lo stato finale sia dato dalla configurazione in cui ogni faccia del cubo è composta di tessere dello stesso colore; il giocatore alle prime armi, facilmente riuscirà a portare tutte le tessere di un determinato colore su una medesima faccia; ma quando cerca di fare la stessa cosa per la seconda faccia, si accorge che non riesce a compiere questa operazione senza scombinare la faccia che era già stata messa a posto; egli non tarda a capire dunque che la «distanza» tra la situazione in cui si trova attualmente il cubo e la configurazione finale non può essere valutata semplicemente dal numero di facce già a posto.

Viene spontaneo allora cercare di vedere se si riesce a spostare le tessere in punti importanti (spigoli e vertici) senza alterare la posizione delle tessere già «a posto», ovvero in modo tale da poter rimettere a posto le tessere subito dopo averle scombinate.

Questo è un tipico «sub-problema», un problema cioè che è necessario risolvere per poter risolvere il problema originario di raggiungere la posizione finale desiderata. Nel caso del cubo il problema di passare da una configurazione iniziale *scrambled* ad una configurazione finale «desiderata» è stato appunto risolto mediante una scomposizione del problema stesso in sub-problemi, più semplici ma anche più generali.

Siamo così giunti ad affrontare la questione nel suo aspetto più

generale: trovare la strategia vincente di un gioco o di un *puzzle* è un processo di soluzione di problemi; esso può avvenire attraverso una ricerca orientata nello spazio degli stati, come nel caso già visto degli scacchi, oppure come una ricerca nello *spazio dei problemi*, come nel caso del cubo di Rubik.

Questo secondo modo di procedere è formalmente identico al primo: si tratta sempre di eseguire una ricerca orientata entro un albero; nel caso attuale però l'albero è l'albero del gioco – degli stati del gioco – bensì è l'albero dei problemi (sub-problemi) che ci si può porre nell'ambito del gioco.

Da ciò nasce una notevole difficoltà. Infatti nell'analisi nello spazio degli stati l'aspetto difficile consiste nella scelta dei parametri di stato, mentre è agevole generare gli stati futuri da esaminare: basta applicare (meccanicamente) le regole del gioco, per poi selezionare gli stati più «promettenti».

Al contrario nell'analisi nello spazio dei problemi non esiste un ordine tra sub-problemi, perché non vi è una successione ordinata nella loro generazione.

Si tratta di operare euristicamente (induttivamente) in modo da individuare entro l'albero tutti e soli quei sub-problemi dalla cui combinazione si ottiene di risolvere il problema originario.

Non discuteremo qui gli aspetti tecnici delle procedure fondate sulla suddivisione del problema in sub-problemi; ne daremo invece un esempio semplice ma completo nel seguito.

Qui vogliamo però sottolineare il fatto che questo procedimento può essere pensato come un modo di rappresentare il processo di *divisione del lavoro mentale* che avviene allorché vengono affrontati problemi complessi. Viene dunque spontanea l'ipotesi che le tecniche di scomposizione di un problema in sub-problemi possono darci una via per analizzare in modo adeguato processi di divisione del lavoro e farci comprendere la formazione di strutture organizzative.

Infatti l'articolazione organizzativa interna dell'impresa può essere vista come uno dei possibili modi con cui i problemi che l'impresa deve risolvere vengono scomposti in sub-problemi e affidati a sub-sistemi funzionali dell'impresa. L'organizzazione decentra i compiti al suo interno, strutturando le sue *routines* in *sub-routines* collegate *parametricamente*.

Il passo che ora occorre fare è di rappresentare formalmente il processo di soluzione di problemi, e quindi di creazione di nuove procedure.

A questo scopo, prima di dare una impostazione generale al problema, esploriamo ora un esempio completo della situazione sopra illustrata, servendoci di una ipersemplificazione del cubo di Rubik: riduciamo il cubo ad un quadrato composto di quattro tessere snodabi-

li. (Il lettore non interessato agli aspetti formali può saltare al successivo paragrafo.)

Supponiamo dunque di disporre di un quadrato diviso in quattro parti, contrassegnate da quattro diversi colori, che simbolizzeremo con le lettere *A, B, C, D.* Ognuna delle quattro parti del quadrato è colorata con lo stesso colore su entrambe le facce (posteriore ed anteriore) e si può ruotare (a scatti di 180 gradi) attorno ai due assi, come nella figura, secondo quattro modalità elementari: «up», rotazione della parte superiore attorno all'asse verticale, «down», rotazione della parte inferiore attorno all'asse verticale, «left», rotazione della parte sinistra attorno all'asse orizzontale, e «right» rotazione della parte destra attorno all'asse orizzontale.

Naturalmente ad ognuna di queste rotazioni mezza faccia posteriore diventerà anteriore e viceversa.

Possiamo facilmente rappresentare il gioco mediante un sistema formale (calcolo associativo): i simboli che useremo sono le quattro lettere *A, B, C, D.* Una stringa di quattro lettere rappresenterà una configurazione del gioco; per esempio la stringa *ABCD* rappresenta la configurazione a sinistra nella figura 3.1, con la convenzione di leggere le lettere del quadrato a partire dal lato sinistro in alto e muovendo in senso orario.

Si verifica facilmente che le trasformazioni ammesse sono tutte le trasformazioni in cui si scambiano due lettere adiacenti (per esempio *ABCD* in *ACBD*), più la trasformazione ottenuta scambiando la prima lettera con l'ultima (per esempio *ACBD* in *DCBA*).

Riassumendo possiamo stabilire:

1) l'assioma, cioè la posizione iniziale; stabiliamo sia la stringa *ABCD*;

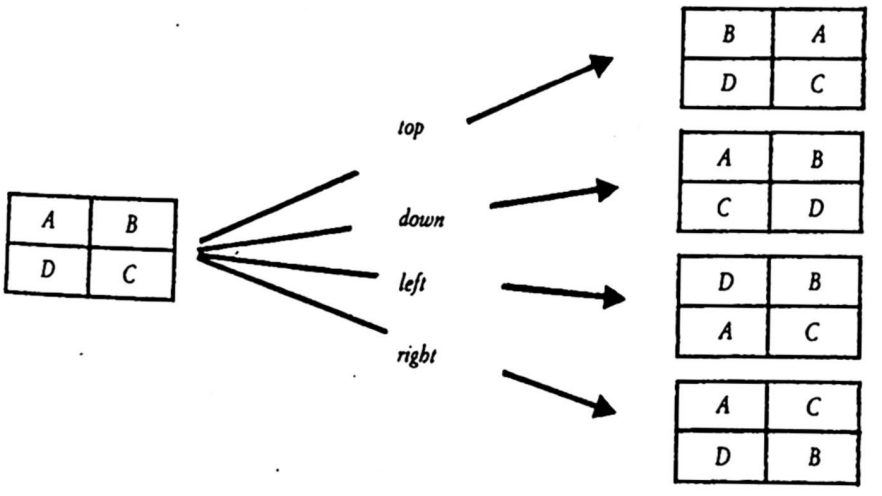


FIG. 3.1.

2) le regole di trasformazione: scambio tra due lettere adiacenti in senso lato; a partire da una configurazione qualsiasi si hanno quattro possibilità; se la configurazione è l'assioma, avremo:

ABCD — up → *BACD*
ABCD — left → *ACBD*
ABCD — down → *ABDC*
ABCD — right → *DBCA*

Per brevità le quattro trasformazioni elementari saranno indicate con le quattro lettere iniziali: *u* (*up*), *l* (*left*), *d* (*down*), *r* (*right*).

3) L'obiettivo da raggiungere. Possiamo fissarlo ad arbitrio.

Per raggiungere l'obiettivo dovremo «scrivere un programma», cioè stabilire una sequenza di trasformazioni, quale ad esempio: *ulrrlul*, che rappresenta una sequenza di trasformazioni atte a raggiungere una determinata configurazione.

Ogni stringa contenente sequenze delle quattro lettere *u, d, l, r* rappresenta un programma, cui corrisponde una sequenza di rotazioni del quadrato che permettono di raggiungere una determinata configurazione. Ogni programma è perciò ottenibile come combinazione (accostamento) dei quattro programmi elementari *u, d, l, r.*

Esaminiamo ora i modi di raggiungere una determinata configurazione (sia per esempio *ABCD* a partire da *BCDA*).

Se non vi fossero limiti alle capacità di calcolo e memoria basterebbe espandere tutto l'albero del gioco, generando ordinatamente tutte le possibili sequenze, scrivere ordinatamente tutti i programmi che danno luogo a tutte le configurazioni che è possibile generare a partire dall'assioma, fino a pervenire alla posizione desiderata.

Nel fare ciò occorre disporre di molta memoria onde poter confrontare ogni nuova configurazione con quelle già generate (e memorizzate), per evitare di scrivere un albero infinito.

Nella realtà, valendo evidenti limiti computazionali e di memoria il giocatore cercherà di individuare delle *routines* semplici per risolvere sub-problemi; se è possibile, i sub-problemi dovranno essere scelti in modo da permettere di ricondurre il maggior numero di problemi che si possono porre attraverso una scomposizione ai sub-problemi stessi.

Come abbiamo rilevato in precedenza, non vi è un qualche ordine naturale *a priori* che permetta di generare ed esaminare i sub-problemi in modo logicamente sequenziale: il giocatore formulerà dunque qualche *congettura* che possa orientare la sua ricerca di sub-problemi rilevanti.

Una congettura sensata nel nostro caso è la seguente: supponiamo sia possibile scambiare fra loro due colori dalle posizioni in cui sono, lasciando inalterati nella loro posizione gli altri due; chiamiamo scam-

bi conservativi tali scambi. Congetturiamo, cioè speriamo e ci proponiamo di dimostrare che ogni spostamento di colori può essere effettuato, mediante successione di scambi conservativi.

Esaminiamo ora i sub-problemi essenziali, cioè la possibilità di effettuare tutti gli scambi conservativi possibili.

È immediato vedere che questo problema si suddivide nei due seguenti: scambiare due colori fra loro adiacenti; oppure spostare due colori che si trovano in posizione un colore nella posizione opposta del quadrato (cioè sulla medesima diagonale).

È ovvio risolvere il primo tipo di problemi; i programmi definiti dalle stringhe: *u, d, l, r* risolvono la prima classe di spostamenti.

Per risolvere il secondo tipo di problema, esaminiamo separatamente i due casi che possono verificarsi: scambio della diagonale sinistra e di quella destra (lasciando il resto inalterato). Anche operando per tentativi, è facile vedere che i programmi *ulu*, *drd* risolvono il secondo mentre *uru*, *dld* risolvono il primo problema.

Si tratta infine di mostrare che la congettura fatta inizialmente è corretta, cioè che ogni problema di spostamento dei colori può essere risolto combinando i due tipi di spostamenti ora visti: per colori adiacenti e per colori opposti, in quanto disponiamo sia di *routine* per scambiare due colori adiacenti (lasciando inalterati gli altri due) sia due colori opposti (sempre lasciando inalterati gli altri due).

Dimostriamo questo «teorema», supponendo per semplicità di voler trasformare un quadrato «scrambled» qualsiasi nel quadrato i cui colori sono posti nella sequenza *ABCD*, con *A* in alto a sinistra.

A partire dalla configurazione iniziale *scambled*, spostiamo il colore *A* nella posizione in alto a sinistra; per fare ciò useremo le *routines* di spostamenti adiacenti.

Esaminiamo ora l'elemento opposto ad *A* (in posizione basso, destra). Se non coincide con *C*, basta spostare *C*, che può essere solo in posizione in alto a destra o in basso a sinistra, mediante una *routine* di spostamento adiacente (*d* o *r*).

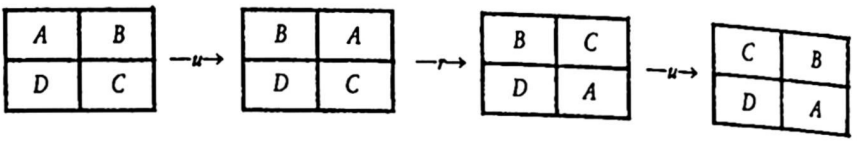
Ora abbiamo messo a posto i due colori sulla diagonale sinistra (*A* e *C*). Se *B* e *D* non sono al loro posto, basterà usare la *routine ulu* oppure *drd* per metterli a posto.

Così semplicemente usando le due *subroutines* sopra poste in rilievo, e combinandole, otteniamo di trasformare ogni configurazione *scambled* in una configurazione ordinata.

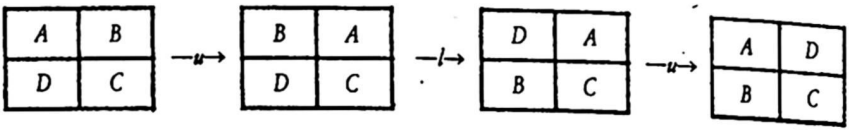
Naturalmente, è possibile definire come configurazione finale, «ordinata» qualsiasi altra configurazione, differente da *ABCD*: la procedura per raggiungere tale configurazione sarà sempre la stessa.

Il problema (anzi, la classe di problemi) è dunque risolto. Ma va notato che quello ora trovato non è l'unico modo per risolverlo. La-

Scambio sulla diagonale sinistra



Scambio sulla diagonale destra



sciamo al lettore di dimostrare che lo stesso risultato si può ottenere scomponendo il problema nei seguenti sub-problemi:

1) Spostare *A*, mediante trasformazioni adiacenti, in alto a sinistra).

2) Spostare *B* in 2 (alto, destra) mediante trasformazioni adiacenti che non spostino *A* dalla sua posizione, e cioè facendo uso delle sole *routines d, r.*

3) Se *C* e *D* non sono a posto, vanno scambiati, con *d.*

Si deve notare che in questo caso le *subroutines* rilevanti non sono le stesse che nella scomposizione precedente. Ora infatti non si fa uso di una *routine* che scambi due colori sulla diagonale, ma di una *routine* che sposti un colore (*B*) lasciando un altro colore (*A*) in una posizione determinata.

Il problema che tipicamente viene posto in situazioni di questo genere è se tra le due procedure una sia migliore dell'altra. (Si pone cioè un problema tradizionale di scelta tra due tecniche disponibili.)

Vanno osservate due cose: primo, che non c'è modo per garantire che queste due siano le sole due tecniche che si possono porre in atto; sono quelle disponibili al lettore giunto fino a qui. Si vedrà che l'esplorazione dell'albero mostra l'esistenza di almeno quattro modi per risolvere il problema. Non vi è una regola *a priori* per generare questi modi di soluzione, e quindi non è possibile stabilire definitivamente quale sia «la tecnica preferibile» per risolvere il problema.

Secondo, la definizione di «preferibile» qui non è indipendente dalla configurazione iniziale.

Per svolgere un confronto completo tra differenti strategie di comportamento, esaminiamo un esempio in modo completo. Supponiamo che la posizione iniziale sia *BCDA*, che vada raggiunta la posizione finale *ABCD*, e confrontiamo il comportamento del giocatore che segue ordinatamente tutti i cammini (comportamento che chiame-

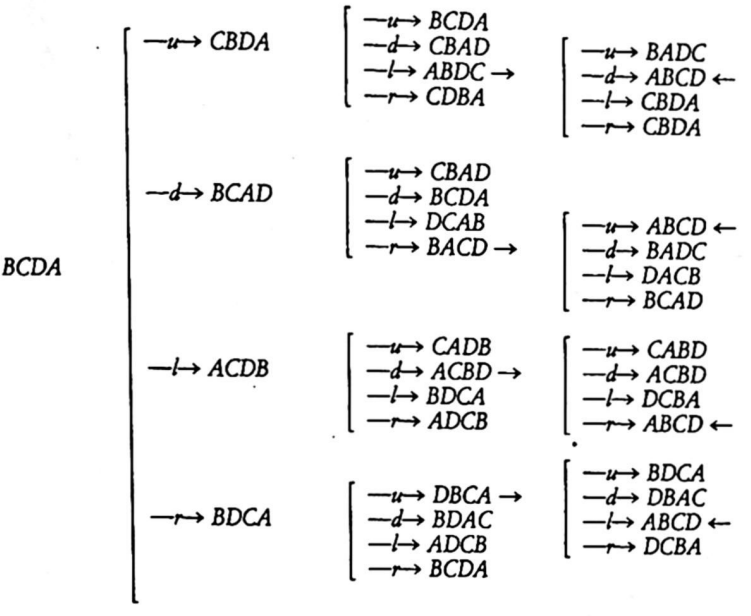


FIG. 3.2.

remo tradizionale), con quello del giocatore che attua la soluzione sopra trovata (comportamento che chiameremo intelligente).

Con ← è indicata, in fig. 3.2, la configurazione *ABCD*, che viene raggiunta come si vede in quattro modi differenti, al terzo livello di profondità dell'albero. Ovviamente vi saranno ulteriori modi di raggiungere la configurazione *ABCD*, a livelli di profondità maggiori.

Usando la procedura del giocatore tradizionale, dovremo esplorare l'albero (per esempio seguendo la regola di espandere orizzontalmente i nodi), secondo l'ordine: *u, d, l, r* (cioè dall'alto in basso nella figura sopra). Ne segue che raggiungeremo il nodo desiderato dopo $4 + 4 \cdot 4 + 2 \cdot 4 + 2 = 30$ tentativi.

Usando la procedura del giocatore intelligente, il problema di passare dalla configurazione *BCDA* alla configurazione *ABCD* può essere così scomposto:

$$BCDA \text{ — } l \rightarrow ACDB \text{ — } ulu \rightarrow ABDC \text{ — } d \rightarrow ABCD$$

quindi il programma: *lulud* risolve il problema in 5 mosse.

Ma si è visto che si può raggiungere la configurazione *ABCD* in tre passi, e dalla figura 3.2 si vede che i programmi che permettono di raggiungere tale risultato sono: *uld, dru, ldr, rul.* Il guaio di un giocatore che espande brutalmente tutte le mosse è che deve esplorare almeno 30 differenti programmi per trovarne almeno uno dei quattro risolutivi.

Invece con la procedura «intelligente» di scomposizione in sub-problemi, una volta che sia pervenuto alla formulazione della procedura generale, un giocatore dovrà esplorare 5 nodi soltanto; anzi, vedremo tra poco che potrà trovare proprio uno dei quattro programmi risolutivi sopra elencati, che richiedono l'esplorazione di soli 3 nodi, con un semplice «ragionamento».

Si può osservare che il risultato più rilevante dell'attività di analisi del problema e sua scomposizione consiste nella creazione di una nuova rappresentazione, più efficace e sintetica, del medesimo problema. Infatti la soluzione dei sub-problemi ha dato luogo alla costruzione di programmi specifici, riutilizzabili continuamente, ossia di routines, o procedure, che rappresentano i mattoni di un nuovo linguaggio.

Nuove parole elementari, le cui combinazioni definiranno nuove regole di trasformazione, vengono definite attraverso tali *routines*.

Stabiliamo le seguenti parole: *u, d, l, r, q, w, v, s* ove *u, d, l, r* hanno il significato precedente, e inoltre *v* indica nessuna trasformazione, ed *s* lo scambio speculare.

Valgono evidentemente le uguaglianze indicate in fig. 3.3.

Si deve notare che data una qualsiasi stringa di caratteri S, $Sv = vS = S$, il che significa che l'operazione *v* non altera nessuna sequenza S di trasformazione del cubo.

Si può così definire un nuovo calcolo associativo, in cui le quattro uguaglianze sopra stabilite indicano le sostituzioni ammissibili, o regole di trasformazione, l'assioma iniziale sarà il «teorema» che dobbiamo dimostrare.

Il sistema è dotato di una vera e propria «algebra», che permette di operare sui simboli *u, l, d*, ecc. mediante le regole stabilite sopra (fig. 3.3). È importante osservare che tali regole, che sono poste sotto forma di uguaglianze, si possono considerare come regole di trasformazione «simmetriche», cosicché il nuovo linguaggio che abbiamo costruito è anch'esso definito, come il linguaggio originario (*A, B, C, D*), mediante stringhe di simboli e trasformazioni su stringhe.

Servendoci del nuovo linguaggio possiamo ridurre il programma

$\rightarrow g = ulu = drd = rur = ldl$
(scambio dei colori sulla diagonale destra)
$\rightarrow w = uru = dld = ..$
(scambio dei colori sulla diagonale sinistra)
$\rightarrow v = uu = dd = ll = rr = ...$
(operazione nulla)
$\rightarrow s = ud = lr = ..$
(scambio speculare di tutto il quadrato)

FIG. 3.3.

lulud ad un programma più semplice *ldr*. È possibile mostrare che *ldr* è il programma più breve, e dunque che non esistono programmi più efficienti per risolvere il problema dato.

Infatti il giocatore intelligente il cui programma *lulud* era la soluzione del problema di passare da *BCDA* a *ABCD*, può applicare le regole di trasformazione a tale programma, e semplificarlo:

$$lulud \rightarrow ldrdd \rightarrow ldrv \rightarrow ldr$$

e dunque il giocatore intelligente giunge a individuare il programma (più efficiente) *ldr* solo dopo aver «scoperto» le procedure sopra illustrate: la adatta scomposizione del problema, le *subroutines* di scambio tra colori adiacenti o diagonali, e l'algebra che sorge dalla nuova rappresentazione del problema.

È evidente che la complessa sequenza di procedure intelligenti poste in atto è conveniente solo se il problema va risolto «molte volte», perché per giungervi si è attuato un lavoro mentale complesso, che richiede tempo, ed il cui esito non era predicabile *a priori*.

Il punto centrale dell'intera operazione, infatti, è che a partire dal sistema che operava sulle stringhe tipo *ABCD* abbiamo definito nuove lettere *u, d, l, r, q* e costruito relazioni (nuove regole di trasformazione) tra queste lettere in base ad osservazioni induttive e sintetiche sulle proprietà del sistema originario.

Il problema di passare da una configurazione iniziale *scrambled* ad una configurazione finale «esteticamente bella» è dunque stato risolto – nello speciale esempio ora esaminato – mediante una scomposizione delle procedure in base a *routines* più semplici; è stato risolto con successo; la questione rilevante tuttavia è se si possa trovare una procedura che permetterà «sempre», per ogni rompicapo, di scomporre il problema dato in sub-problemi che rendano «efficiente» la soluzione.

Si può dimostrare che se ciò fosse possibile sarebbe possibile risolvere *ogni problema formalizzato*, rappresentato cioè mediante un sistema di regole formali: è al contrario da questa impossibilità, e dalla conseguente incompletezza della «conoscenza» formalizzata, che possiamo ricavare indicazioni precise sui limiti alla possibilità di procedere in modo automatico alla progettazione di strutture organizzative, e quindi sulle ragioni teoriche per la impredicibilità generica delle innovazioni [Dosi e Egidi 1987; Egidi 1988].

5. L'impresa come insieme di procedure che si automodificano

L'esempio sopra sviluppato fornisce tutti gli elementi che permettono di ragionare sulla questione della risolvibilità dei problemi, que-

stione che ci permette di chiarire due punti chiave: come rappresentare formalmente la generazione di nuove *routines* e come questa si traduca in una modifica delle procedure organizzative interne all'impresa.

Ricordiamo rapidamente quali siano le caratteristiche del sistema con cui abbiamo formalizzato il rompicapo; abbiamo stabilito:

1) un alfabeto $\alpha = (A, B, C, D)$ le cui stringhe rappresentano «stati» o «configurazioni» del rompicapo;

2) delle regole di trasformazione, che operano sulle stringhe di 1) ciascuna delle quali è stata simbolizzata mediante una lettera di un secondo alfabeto $\beta = (l, r, u, d)$.

Si usa indicare con α^* l'insieme di tutte le stringhe di lunghezza finita che si possono costruire con l'alfabeto α, e con β^* l'insieme delle stringhe di lunghezza finita che si possono costruire con lettere dell'alfabeto β.

Ricordiamo inoltre che per passare da uno stato $s1 \in \alpha^*$ del rompicapo ad un altro stato $s2 \in \alpha^*$ occorre scrivere una sequenza di simboli di β, sequenza che costituisce un *programma*.

È facile riconoscere che in genere non tutte le sequenze di lettere di β costituiscono un *programma*, perché vi saranno sequenze che non si possono applicare a determinate configurazioni del rompicapo. L'insieme delle sequenze ammissibili o programmi, quelle sequenze cioè che possono essere applicate ad uno stato del gioco e producono un nuovo stato, costituisce un *linguaggio formale* [3].

È chiaro dunque che qualunque situazione strategica che si possa descrivere mediante la normale terminologia della teoria dei giochi, può essere tradotta nei termini di un linguaggio formale: il linguaggio che la caratterizza è definito dall'insieme di tutti i programmi che si possono attuare nell'ambito della situazione strategica data.

Siamo pervenuti dunque a formalizzare in modo preciso le «capacità» di un agente in situazione di incompletezza informativa e razionalità limitata: egli dispone di due capacità: quella di risolvere problemi secondo procedure note, cioè di eseguire *routines* conosciute; e quella di formulare e risolvere problemi in modo nuovo, cioè di generare nuove *routines*.

Come abbiamo accennato in precedenza, attribuendo queste due capacità al soggetto dell'azione, presupponiamo in lui capacità «intellettuali» molto superiori a quelle previste dalla microeconomia tradizionale per l'agente razionale. L'agente massimizzante della tradizione è l'esecutore di una unica *routine*, risolve sempre il medesimo proble-

[3] Linguaggio formale va qui inteso secondo la definizione rigorosa della teoria della computazione. Si veda ad esempio Cutland [1980], Hopcroft e Ullman [1979].

ma con le stesse modalità (la scelta massimizzante tra alternative perfettamente note).

Viceversa, proprio perché partiamo dall'ipotesi di limitata capacità di elaborare calcoli e processare informazioni, attribuiamo agli agenti (individui o gruppi organizzati) non solo la capacità di eseguire *routines*, ma soprattutto la facoltà di percepire i mutamenti nella situazione o gli errori di valutazione e reagire cercando nuove soluzioni.

Abbiamo dato un esempio completo di come avvenga la ricerca di nuove soluzioni ad un problema dato. Chi abbia avuto la pazienza di seguirlo, avrà notato che il processo di ricerca posto in atto, e giunto a buon fine, era tutto svolto nello spazio dei sub-problemi.

In sintesi: il giocatore che cerca un algoritmo mediante il quale giocare il cubo di Rubik semplificato, procede per *congetture* tentando di ricondurre il problema originario a un insieme di sub-problemi: egli scompone ricorsivamente il problema originario in sub-problemi che suppone essere risolvibili senza affatto averne la certezza.

Nell'esempio sopra svolto, erano date le trasformazioni:

$$\begin{aligned} ABCD &\rightarrow up \rightarrow BACD \\ ABCD &\rightarrow left \rightarrow ACBD \\ ABCD &\rightarrow down \rightarrow ABDC \\ ABCD &\rightarrow right \rightarrow DBCA \end{aligned}$$

ed il problema era di trovare una procedura per trasformare una stringa qualsiasi in un'altra, pure data a caso.

Come si è già osservato, queste trasformazioni spostano due lettere adiacenti: «se si potessero operare trasformazioni tra lettere distanti di un posto, allora disporremmo di tutte le trasformazioni possibili e potremmo facilmente operare qualunque trasformazione desiderata».

La precedente frase tra virgolette è la prima osservazione, che dà luogo a due congetture:

I congettura: è possibile operare la trasformazione

$$ABCD \longrightarrow CBAD$$

II congettura: è possibile operare la trasformazione

$$ABCD \longrightarrow ADCB$$

Se le due congetture sono vere, diviene immediato risolvere ogni tipo di trasformazione, operando con successioni delle 4 trasformazioni elementari e delle due trasformazioni congetturate. Si procede allora ricorsivamente, cioè si scompongono a loro volta le due congetture in sub-problemi, fino a verificarne la correttezza. (Si esamina se le due trasformazioni si possono effettivamente ottenere con una qualche successione di trasfoirmazioni elementari; si scopre infine che ciò è vero.)

Il procedimento si svolge nello spazio dei sub-problemi, e si svolge per così dire *dal macro al micro*, cioè da una analisi globale fondata su congetture, ad una analisi di dettaglio.

Questo è il carattere tipico del lavoro di progetto, ed in special modo della progettazione tecnologica ed organizzativa entro le organizzazioni: prima si tracciano le linee generali, presupponendone (congetturandone) la fattibilità, poi si procede ad una scomposizione del lavoro in parti possibilmente indipendenti.

È interessante notare che questo procedimento sembra definire una gerarchia nel modo di risolvere i problemi: ma va notato che vi sono in generale più modi di scomposizione e quindi altrettante possibili gerarchie; inoltre tali gerarchie non coincidono affatto con la gerarchia dei ruoli e del comando entro l'organizzazione, bensì definiscono sottosistemi funzionali entro l'organizzazione.

La caratteristica macro-micro spiega come sia possibile trasmettere l'informazione e le conoscenze entro l'organizzazione, ed operare una divisione del lavoro; infatti dobbiamo attribuire a tutti gli individui la capacità di comprendere il problema (organizzativo o tecnologico) nella sua forma «macro» e supporre che differenti modi di risolverlo possano essere «scoperti» da differenti individui che operano con diversi criteri, o indicatori, nel generare l'albero dei sub-problemi. Potremo così ritrovare differenti soluzioni date all'organizzazione interna a seconda delle conoscenze accumulate dai partecipanti all'organizzazione.

Si tratta di modi alternativi nei quali l'organizzazione può dividere al suo interno il pocesso di produzione in differenti funzioni; ad ogni funzione corrisponderà una *routine*: dal discorso (e dall'esempio) svolto in precedenza si capisce che la scelta delle *routines*, dei modi nei quali scomporre un problema in sub-problemi, non è unica.

L'esempio sopra svolto mostra bene un fatto molto rilevante: la divisione dell'organizzazione in funzioni è ricorsiva, perché le funzioni a loro volta sono sub-organizzazioni che si possono scomporre in nuove funzioni, fino a giungere ad un livello minimo di operazioni elementari.

Questo carattere ricorsivo della scomposizione permette di comprendere gli effetti radicalmente diversi che hanno differenti tipi di innovazioni tecnologiche entro l'impresa: vi sono innovazioni il cui effetto è la modifica di qualche *routine* che rappresenta un problema «di basso livello», cioè non ulteriormente scomponibile: potremmo considerarle innovazioni incrementali.

Altre innovazioni, se adottate, richiedono la modifica di *routines* che sono in alto nella gerarchia dei problemi scomponibili, e quindi causano una revisione della divisione dei compiti e del modo di risol-

vere il problema di tipo radicale, perché richiedono la modifica di gran parte delle *routines*: potremo considerarle innovazioni radicali.

Una ulteriore importante conseguenza del carattere ricorsivo della divisione del lavoro è la incompletezza dei contratti. Nella definizione dei contratti infatti si stabiliscono i compiti ed i ruoli di chi opera entro l'impresa con un procedimento dal macro al micro: come nella stesura dei progetti, si indicano le linee globali dei compiti da svolgere, senza entrare nei dettagli di *routines* a livello esecutivo.

Esistono vari livelli di dettaglio a cui si può arrivare nella definizione dei compiti, delle *routines*, come si vede dalla differenza tra il modello tayloristico – che pretende di andare fino alla definizione minuziosa della operazione elementare – ed il modello giapponese, che lascia notevole elasticità alla definizione e ridefinizione continua di sub-compiti entro il quadro generale.

In ogni caso ciò che conta è che il carattere ricorsivo della divisione dei problemi permette la formulazione incompleta dei progetti e dei contratti, presupponendo evidentemente la capacità umana di completarli, cioè di risolvere autonomamente problemi [4].

6. Conclusioni

Possiamo così sintetizzare il discorso: per formulare e porre in atto i loro obiettivi, individui che si trovano in situazioni di complessità informativa e computazionale debbono ridurre tale complessità mediante appropriate procedure.

La caratteristica tipica di queste procedure è che esse riducono i comportamenti strategici a parametrici, cioè individuano dei parametri di stato che sintetizzano l'informazione necessaria.

Ciò è esattamente quello che accade per il mercato, che riduce il carattere dell'agire individuale da strategico a parametrico mediante i prezzi; ma questa riduzione è imperfetta, come si è visto: i fallimenti del mercato sono un fenomeno sistematico, dovuto alla peculiare natura dell'informazione o, meglio, dei processi conoscitivi e dei processi di comunicazione interindividuale che è necessario attivare nello svolgimento dell'attività economica.

Ciò determina il permanere sistematico di comportamenti come l'opportunismo, e genera asimmetrie informative e decisionali che richiedono forme di coordinamento delle decisioni differenti da quelle operate dal mercato. Le organizzazioni gerarchiche sono uno dei modi con cui il coordinamento viene realizzato.

[4] Si veda Hart [1988] per il ruolo dei contratti incompleti entro la teoria dell'impresa.

Entro le organizzazioni gerarchiche viene operato un processo di sintesi dell'informazione rilevante e di coordinamento delle decisioni: per descrivere tale processo di sintesi occorre accettare l'ipotesi di razionalità limitata e procedurale. Nel presente lavoro abbiamo sviluppato questa ipotesi e attributo agli agenti (individui o gruppi organizzati) non solo la capacità di eseguire *routines*, ma soprattutto la facoltà di percepire i mutamenti e reagire cercando nuove *routines*. Ciò ha portato ad individuare una caratteristica peculiare della natura dell'impresa, la capacità di generare endogenamente nuove forme di organizzazione.

L'impresa, che nello schema tradizionale veniva ridotta in termini di funzione di produzione, è stata dapprima definita seguendo l'ottica proposta dal filone che va da Coase a Williamson. Il processo di decisione dentro l'impresa è stato infatti considerato nei suoi due aspetti: la sintesi delle informazioni rilevanti che avviene attraverso l'articolazione della struttura organizzativa in segmenti, in sub-sistemi che svolgono compiti differenti e comunicano con segnali non di prezzo, e le forme di coordinamento gerarchico tra questi segmenti.

Sotto questo profilo l'impresa svolge un ruolo analogo a quello del mercato. E tuttavia vi è una differenza rilevante fra i ruoli svolti dal mercato e quelli svolti dalle organizzazioni: infatti l'impresa, oltre a svolgere i due ruoli sopra elencati, disegna la divisione dei compiti appropriata allo scopo da raggiungere.

Questa differenza è dovuta al fatto che l'impresa, come organizzazione, esiste in quanto persegue degli scopi in modo almeno parzialmente intenzionale, mentre il mercato è una organizzazione non intenzionale. In quanto organizzazioni intenzionali, le imprese riflettono la capacità di progettare le forme di cooperazione che permettono di pervenire agli obiettivi prefissati, cioè la capacità di progettare la loro organizzazione interna, e di modificare tale organizzazione quando questa non risponda appropriatamente agli scopi.

In altri termini, le organizzazioni intenzionali svolgono una funzione più complessa di quella del mercato e precisamente quello di *progettare la divisione del lavoro*, mentre il mercato si limita a coordinare le attività degli agenti entro una struttura della divisione del lavoro già data.

L'articolazione organizzativa interna dell'impresa può essere vista come uno dei possibili modi con cui i problemi che l'impresa deve risolvere vengono scomposti in sub-problemi e affidati a sub-sistemi funzionali dell'impresa.

Il processo di ridefinizione dell'organizzazione interna di un'impresa, e di ridefinizione della divisione del lavoro, è un processo che viene attivato, come si è visto, partendo da una visione globale per poi ricorsivamente scendere a scomposizioni più dettagliate del pro-

blema. Questo processo può essere formalizzato come processo ricorsivo di scomposizione del problema originario in sub-problemi. Tra le conseguenze di questo approccio, vi è l'importante fatto che sia le *routines* dell'impresa, che i contratti che definiscono i compiti degli individui entro le *routines*, possono avere carattere aperto ed incompleto.

Riferimenti bibliografici

Alchian, A. A. (1950), *Uncertainty, Evolution and Economic Theory*, in «Journal of Political Economy», vol. LVII, pp. 211-221.

Alchian, A. A. e Demsetz, H. (1972), *Production, Information costs and economic organization*, in «American Economic Review», 62, pp. 777-795.

Arrow, K. J. (1951), *Alternative Approaches to the Theory of Choice in Risk-taking Situation*, in «Econometrica», vol. XIX, pp. 404-437.

— (1970), *Essays in the Theory of Risk-bearing*, Amsterdam, North-Holland.

— (1971a), *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention*, in Lamberton [1971].

— (1971b), *Exposition of the Theory of Choice under Uncertainty*, in C. B. McGuire e R. Radner [1972, 19-55].

— (1978), *The Future and The Present in Economic Life*, in «Economics Inquiry», n. 16, pp. 157-170.

— (1983), *Innovation in Large and Small Firms*, in Ronen J. [1983].

Arrow, K. J. e Hahn F. (1971), *General Competitive Analysis*, San Francisco, Holden-Day.

Bell, D. e Kristol, I. (a cura di) (1981), *The Crisis in Economic Theory*, Basic Books, New York.

Coase, R. (1937), *The Nature of the Firm*, in «Economica», n. 4, pp. 386-405, ristampato in G. Stigler e K. Boulding [1952, 331-351].

— (1988), *The Nature of the Firm: Origin, Meaning, Influence*, in «Journal of Law, Economics and Organization», n. 4.

Church, A. (1936), *An unsolvable problem of elementary number theory*, in «American Journal of Math», 58, pp. 345-363.

— (1941), *The Calculi of Lambda-Conversion*, in *Annals of Mathematics Studies*, 6, Princeton, Princeton University Press.

Cutland, N. J. (1980), *Computability. An introduction to recursive function theory*, Cambridge (Mass.), Cambridge University Press.

David, P. A. (1975), *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*, Cambridge, Cambridge University Press.

Davies, M. (1958), *Computability and Unsolvability*, New York, McGraw-Hill.

Diamond, P. e Rothschild, M. (1978), (a cura di), *Uncertainty in Economics*, New York, Accademic Press.

Dosi, G. (1982), *Technological Paradigms and Technological Trajectories. A suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change*, in «Research Policy», giugno 11(2), pp. 147-162.

Dosi, G. e Egidi, M. (1987), *Substantive and Procedural Uncertainty. An ex-*

ploration of Economic Behaviors in Complex and Changing Environments, presentato all'International Workshop on «Programmable Automation and New York Modes», Paris, 2-4 aprile, CEPREMAP.
— (1988), *A Bounded Rationality Approach to Uncertainty and Innovation*, in *Between Rationality and Cognition*, a cura di M. Campanella, Torino, A Maynier.
Egidi, M. (1986), *The Generation and Diffusion of New Routines*, in *The Diffusion of New Technologies*, a cura di F. Arcangeli, P. David e G. Dosi, Oxford, Oxford University Press (in corso di stampa).
— (1988), *Fallimenti nelle previsioni di lungo periodo* in *Il controllo delle riprese a lungo termine. Studi quantitativi sulla filiera forestale*, a cura di M. Florio, Milano, Angeli.
Hayek, F. A. von (1937), *Economics and Knowledge*, in «Economica», n. 13, trad. it. *Economia e Conoscenza*, in von Hayek [1988].
— (1945), *Individualism and Economic Order*, London, Routledge & Sons.
— (1988), *Conoscenza, mercato, pianificazione*, Bologna, Il Mulino.
Hart, O. D. (1988), *Incomplete Contracts and the Theory of the Firm*, in «Journal of Law, Economics, and Organizations», vol. 4, n. 1.
Hey, J. D. (1982), *Search for Rules for Search*, in «Journal of Economic Behaviour and Organization», vol. III, pp. 65-81.
Hopcroft, J. e Ullman, J. D. (1979), *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*, Reading (Mass.), Addison-Wesley.
Knight, F. H. (1965), *Risk, Uncertainty and Profit*, New York, Harper and Row (prima edizione 1921).
Lamberton, F. (a cura di) (1971), *Economics of Information and Knowledge*, London, Penguin Books.
Langley, P., Simon, H. A., Bradshaw, G. L., Zytkow, J. M. (1987), *Scientific Discovery. Computational Explorations of Creative Processes*, Cambridge (Mass.), MIT Press.
Lewis, A. A. (1985), *On Effectively Computable Realization of Choice Functions*, in *Mathematical Social Science*, vol. X.
— (1986) *Structure and Complexity. The Use of Recursion Theory in the Foundation of Neoclassical Mathematical Economics and the Theory of Games*, Ithaca, Cornell University, Dept. of Mathematics, dattiloscritto.
Manna, Z. (1974), *Mathematical theory of Computation*, New York, McGraw-Hill, trad. it. in *Teoria Matematica della computazione*, Torino, Boringhieri, 1978.
McGuire, C. B. e Radner, R., *Decision and Organization*, Amsterdam, North-Holland.
Marris, R. e Mueller, D. C. (1980), *The Corporation, Competition, and the Invisible Hand*, in «Journal of Economic Literature», 18.
Minsky, M. L. (1967), *Computation: Finite and Infinite Machines*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
Monsen, R. J. e Downs, A. (1965), *A Theory of large managerial firms*, in «Journal of Political Economy», giugno, n. 73, pp. 221-236.
Muth, J. F. (1960), *Optimal Properties of Exponentially Weighted Forecasts*, in «Journal of the American Statistical Association», vol. 55, N0290, pp. 299-306.

— (1961), *Rational Expectations and the Theory of Price Movements*, in «Econometrica», vol. XXIX, n. 3, pp. 315-335.
Nelson, R. R. (1982), *The Role of Knowledge in R&D Efficiency*, in «Quarterly Journal of Economics».
Nelson, R.R. e Winter, S. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge (Mass.), The Belknap Press of Harward University Press.
Neumann, J. von e Morghenstern, O. (1953), *Theory of Games and Economic Behaviour*, Princeton, Princeton University Press.
Nillson, N. J. (1971), *Problem Solving Methods in Artificial Intelligence*, New York, McGraw-Hill.
— (1980), *Principles of Artificial Intelligence*, Palo Alto, Tioga Publishing Company.
Post, E. (1936), *Finite combinatory processes-formulation*, I, in «Journal of Symbolic Logic», 1, pp. 103-105.
— (1943), *Formal reduction of the general combinatorial decision problem*, in «American Journal of Math.», 65, pp. 197-215.
Radner, R. (1968), *Competitive Equilibrium Under Uncertainty*, in «Econometrica», vol. XXXVI, pp. 31-58.
Ronen, J. (1983), (a cura di), *Entrepreneurship*, Lexington (Mass), Heath.
Shackle, G. L. (1969), *Decision, Order and Time in Human Affairs*, Cambridge, Cambridge University Press.
Simon, H. A: (1951), *A Formal Theory of the Employment Relation*, in «Econometrica», 19.
— (1957), *Models of Man*, New York, Wiley.
— (1963), *Problem solving machines*, in «International Science and Technology», 3(36), pp. 48-62.
— (1969), *The sciences of the Artificial*, (Carl Taylor Compton Lectures), Cambridge, MIT Press.
— (1972a), *From Substantive to Procedural Rationality*, in B. McGuire, R. Radner [1972].
— (1972b), *Theories of Bounded Rationality*, in B. McGuire, R. Radner [1972].
— (1973), *The Structure of Ill-Structured Problems*, in «Artificial Intelligence», vol. IV.
— (1979), *Rational Decision Making in Business Organization*, in «American Economic Review», vol. LXIX, pp. 493-513.
Simon, H. A. e Newell, A. (1972), *Human Problem Solving*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
Stigler, G. J. (1951), *The division of labour is limited by the extent of the market*, in «Journal of Political Economy», 59, pp. 185-193.
Stigliz, J. (1986), *Learning to Learn*, presented at the Conference on *The Economic Theory of Technology Policy*, CEPR, London, September 1986.
Trakhtenbrot, B. A. (1963), *Algorytms and Automatic Computing Machines*, Boston, Heat (trad. dall'originale russo), trad. it. *Algoritmi e macchine calcolatrici automatiche*, Milano, Progresso Tecnico Editoriale, 1970.
Turing, A. M. (1936), *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs-problem*, in «Proceedings of the London Mathematical Society», vol. XLIII, pp. 230-265.

Williamson, O. (1975), *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*, New York, Free Press.
— (1985), *The Economic Institutions of Capitalism*, New York, Free Press, trad. it. in *Le Istituzioni economiche del Capitalismo*, Milano, Angeli, 1988.
Winter, S. G. (1982), *An Essay on the Theory of Production, Economics and the World Around It*, a cura di S. H. Hymans, Ann Arbor, Michigan University Press.