

7

La ricerca operativa

7.1 Evoluzione storica

Il termine *ricerca operativa (R.O.)* comparve intorno al 1939, ma le sue origini, per le peculiarità di questa disciplina, possono essere individuate anche più lontano nel tempo.

La necessità dei metodi tipicamente usati dalla ricerca operativa comparve durante la rivoluzione industriale. Con l'espandersi delle imprese industriali divenne necessario suddividere i compiti direttivi e decisionali tra diverse persone, quali i capi del personale, i capi di produzione e i direttori delle vendite; comparvero così e si svilupparono diverse discipline scientifiche orientate alla gestione della produzione e del personale.

Inoltre nacquero applicazioni scientifiche per la direzione aziendale, come le *tecniche di gestione dei materiali*, il *controllo statistico della qualità*, la *tecnica della manutenzione e dell'affidabilità*, le *ricerche di mercato*.

Nell'industria le funzioni direttive dei vari settori si svilupparono gradualmente, parallelamente allo sviluppo delle industrie stesse.

Per coordinare al meglio le diverse funzioni decisionali, quando le dimensioni dell'impresa sono tali che l'esperienza personale del direttore generale non è più sufficiente, occorre utilizzare metodologie scientificamente valide: *la R.O. è una applicazione della ricerca scientifica ad uso della direzione*.

Il primo grande impulso di questa disciplina si ebbe in Gran Bretagna durante la seconda guerra mondiale, in quanto in ambiente militare si accrebbero notevolmente i problemi relativi all'amministrazione, alle informazioni, all'addestramento, alle operazioni militari, alle forniture e alla logistica.

Ognuna di queste funzioni era a sua volta suddivisa in diverse sottofunzioni e dispersa dal punto di vista geografico. Molti problemi tattici e strategici associati alle operazioni militari erano troppo complessi per ottenere una soluzione adeguata se erano utilizzate discipline individuali.

Per dare una risposta a questi problemi vennero organizzati, nel 1939, gruppi di scienziati, raggruppati in unità speciali, all'interno delle forze armate britanniche.

Tali gruppi erano costituiti da matematici, fisici e ingegneri chiamati ad assistere i capi militari nell'impiego delle nuove tecnologie.

Il più famoso di tali gruppi, fu il «circo Blackett», così denominato dal nome del suo coordinatore, il fisico P.M.S. Blackett (1897-1974).

Uno dei primi problemi analizzati da questo gruppo fu il seguente: si trattava di regolare convenientemente la spoletta a tempo impiegata per le bombe di profondità usate dagli aerei per colpire i sommergibili; il comando della Royal Air Force britannica aveva deciso di regolare le spolette in modo tale che esplodessero a 30 metri di profondità, in quanto si riteneva che il sommergibile, dopo essersi accorto dell'aereo, potesse inabissarsi sino a tale profondità.

All'atto pratico i risultati furono piuttosto deludenti e il «circo Blackett» fu incaricato di analizzare matematicamente e risolvere il problema.

Dopo un notevole numero di esperimenti che simulavano il combattimento reale, gli scienziati stabilirono che il bombardiere aveva una probabilità minima di dirigere con precisione la bomba se il sommergibile si immergeva così rapidamente; vi erano invece maggiori probabilità di centrare il bersaglio quando il sommergibile rimaneva vicino alla superficie. Infatti, utilizzando spolette innescate per 30 metri di profondità si ottenevano risultati piuttosto deludenti, in quanto:

- se effettivamente il sommergibile si inabissava, la mira risultava molto imprecisa e difficilmente la bomba colpiva il bersaglio;
- viceversa, se il sommergibile non si inabissava, la bomba esplodeva troppo in profondità e non colpiva comunque il bersaglio.

Gli scienziati conclusero che le probabilità di colpire il bersaglio erano molto maggiori se la spoletta veniva regolata in modo che la bomba scoppiasse appena sotto la superficie dell'acqua, perché solamente quando il sommergibile non era completamente immerso vi era la possibilità di avere una mira relativamente precisa.

Utilizzando questa nuova regolazione delle spolette venne raddoppiato il numero dei sommergibili distrutti.

Dopo i successi ottenuti nel caso esposto, furono impiegati altri gruppi di scienziati per le necessità della guerra. Per le sinergie generate dall'interazione delle diverse discipline, tali gruppi ebbero un notevole successo nel migliorare le complesse operazioni militari; ad esempio progetti tipici furono gli sviluppi dei controlli radar, i controlli delle contraeree per l'avvistamento degli aerei nemici, l'individuazione dei sommergibili.

Appena apparvero gli evidenti successi dei ricercatori, altre nazioni alleate organizzarono gruppi simili e poiché i problemi assegnati a tali gruppi erano, in sostanza, *operazioni* militari, questo lavoro divenne noto come *ricerca operativa*.

Notevole fu l'apporto americano che, anche se iniziato in un periodo posteriore, produsse molte tecniche matematiche avanzate.

Dopo la guerra molti degli scienziati che erano stati attivi nei gruppi di ricerca operativa militari si dispersero nei settori civili dell'industria e del commercio e volsero la loro attenzione alle possibilità di applicare le tecniche, sperimentate in ambiente militare, a problemi civili.

Altri scienziati tornarono alle università e concentrarono i loro sforzi nel fornire solide fondamenta scientifiche alle tecniche sviluppate in precedenza, oppure a svilupparne di nuove.

In termini di applicazioni, le prime organizzazioni civili che usufruirono delle metodologie della ricerca operativa furono grandi corporazioni come le compagnie petrolifere, che per prime utilizzarono la programmazione lineare su vasta scala per la pianificazione della produzione.

Era logico che la ricerca operativa venisse utilizzata per migliorare i profitti, in quanto offriva il modo di ottenere vantaggi competitivi.

Quando poi i ricercatori incominciarono a individuare categorie comuni di problemi (scorte, assegnazioni, *scheduling*, code) e vennero sviluppate tecniche per indicare come tali problemi potevano essere standardizzati, iniziarono le applicazioni su vasta scala anche nelle imprese di minori dimensioni.

Nel settore dei servizi, si ebbero alcuni notevoli impieghi di queste tecniche già dall'inizio della loro diffusione, come ad esempio il lavoro sul controllo del traffico del porto di New York condotto da Leslie Edie e altri nel 1950, ma le applicazioni in grande scala apparvero solamente dopo la metà degli anni '60.

Attualmente sia le industrie sia le organizzazioni di servizi (banche, ospedali, librerie, sistemi giudiziari) riconoscono che la ricerca operativa può essere utile per migliorare la loro produttività.

Recenti conferenze di ricerca operativa hanno incluso sessioni speciali su argomenti come:

- la ricerca operativa nella pianificazione della sicurezza sociale;
- modelli di ricerca operativa di sistemi giudiziari;
- la ricerca operativa nei viaggi e nel turismo;
- applicazioni della ricerca operativa negli sport.

Questo dimostra la sempre maggiore diffusione della R.O., che dalle iniziali applicazioni militari, si è ormai estesa in tutte le attività.

Un importante fattore nel rapido e sostanziale successo della R.O. alla soluzione dei problemi è stato lo sviluppo dei calcolatori elettronici; il calcolatore è stato fin dall'inizio uno strumento insostituibile della ricerca operativa, rendendola capace di trattare calcoli altrimenti insolubili e diversi dei metodi *problem solving*, ora guardati come metodi standard, sarebbero impraticabili senza i moderni calcolatori.

Si può indubbiamente affermare che la R.O. ha beneficiato delle potenzialità dei grandi calcolatori, contribuendo essa stessa al loro sviluppo.

Negli Stati Uniti, per servire i bisogni professionali dei numerosi scienziati impiegati nell'area della R.O., venne fondata nel 1952, la prima associazione di Ricerca Operativa, la *Operations Research of America* (O.R.S.A.).

In seguito sorsero associazioni analoghe in tutti i Paesi industrializzati; in

Italia è operante l'A.I.R.O. (Associazione Italiana di Ricerca Operativa) alla quale aderiscono i più qualificati specialisti del settore¹.

Attualmente la R.O. ha raggiunto una diffusione vastissima; in fig. 7.1 sono elencati alcuni dei più importanti campi di applicazione.

Fig. 7.1 - Applicazioni della ricerca operativa

<i>Settore pubblico</i>	<i>Settore privato</i>
<p><i>Urbano sociale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Pianificazione cittadina Affollamento dei tribunali e udienze Assistenza familiare Controllo dell'inquinamento Sistemazione di rifiuti Orari dei bus e scolastici Trasporti urbani Traffico autostradale ed aereo Sviluppo regionale e mondiale Pianificazione della popolazione Utilizzazione di risorse naturali Divisione in quartieri Sistema di emergenza Strategie di campagne elettorali <p><i>Salute</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Costruzione di indici di salute Valutazione dei servizi sanitari Ammissioni in ospedale Diagnostica Controllo di malattie Pianificazione di diete Utilizzazione di ospedali <p><i>Militare</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Distribuzione e mantenimento di equipaggiamento Affidabilità di veicoli spaziali Satelliti Difesa missilistica Ricerca e salvataggio 	<p><i>Servizio</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Direzione del portafoglio Assicurazioni e rischi Scienza attuariale Strategie di assunzione Pubblicità Utilizzazione di aereoporti Uso dei telefoni Utilizzazione di servizi bancari <p><i>Industriali</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Miscela chimiche e alimentari Programmi di produzione Inventario ottimale Distribuzione di prodotti Utilizzazione del capitale di investimento Pubblicità Test di sicurezza per prodotti Pianificazione, controllo di progetti complessi Controlli di qualità Analisi delle code

¹ La sede dell'A.I.R.O. è costituita presso l'Istituto di Calcolo delle Probabilità dell'Università di Roma; esistono inoltre diverse sedi territoriali; l'A.I.R.O. fa parte dell'I.F.O.R.S., organismo che riunisce tutte le associazioni nazionali di ricerca operativa.

7.2 La natura della ricerca operativa

La ricerca operativa può essere descritta come un insieme di metodologie scientifiche utili per prendere decisioni nei sistemi organizzativi.

Tuttavia questa descrizione, data la sua generalità, può essere applicata a diverse discipline scientifiche; pertanto, per meglio chiarire in cosa consiste la ricerca operativa, è opportuno considerare le sue caratteristiche fondamentali.

- 1) La ricerca operativa viene applicata alla risoluzione di problemi sul come condurre, coordinare e migliorare le operazioni e le attività all'interno di una organizzazione di qualsiasi tipo; può essere vantaggiosamente utilizzata in organizzazioni industriali, negli enti pubblici, commerciali e finanziari, in campo sociale; pertanto il suo campo di applicazione si presenta infinitamente esteso.
- 2) L'approccio utilizzato è quello del metodo scientifico: individuato il problema, si costruisce un modello matematico che tenta di astrarre l'essenza del problema reale; se il modello matematico rappresenta la realtà in modo efficace, allora la soluzione del problema matematico è anche una buona soluzione per il problema reale. Se questo si verifica, la R.O. fornisce risposte a problemi organizzativi e gestionali sotto forma di conclusioni chiare e precise.
- 3) Caratteristica fondamentale della ricerca operativa è il punto di vista, molto ampio, da cui affronta i problemi; infatti l'approccio è di tipo organizzativo, per cercare di risolvere i conflitti tra le diverse componenti del sistema visto nel suo insieme: questo significa, che gli obiettivi prefissati devono essere in accordo con tutta l'organizzazione.
- 4) Infine, la caratteristica è più importante della R.O. è quella di non limitarsi ad individuare una delle possibili soluzioni del problema, ma di individuare, se possibile, quella ottimale. Questo significa che, quando si utilizzano le tecniche proprie della R.O., non si cerca solo una generica soluzione del problema, ma si cerca di individuare la soluzione che, tra tutte quelle possibili, meglio risponde alle esigenze di chi ha posto il problema.

Per la vastità delle applicazioni, per i diversi possibili approcci ai problemi, per i molteplici aspetti che devono essere presi in considerazione, è evidente che l'applicazione delle tecniche della R.O. non può essere gestita da una singola persona, in quanto non può essere esperta di tutti gli aspetti del problema.

Per intraprendere in modo fruttuoso lo studio di un problema, è quindi necessario utilizzare un gruppo di persone, con capacità e preparazioni diverse, che lavorino in modo collegiale.

In un gruppo di lavoro vi devono essere esperti di matematica, di statistica, di economia, di amministrazione aziendale, di programmazione degli elaboratori elettronici e, naturalmente, esperti nelle tecniche della R.O.

cerca Operativa) alla

ssima; in fig. 7.1 sono

re privato

portafoglio

r schi

a e

unzione

aereoplani

servizi bancari

ne e alimentari

produzione

raie

prodotti

le capitale di investi-

za per prodotti

controllo di progetti

a tà

ode

Si possono riassumere le caratteristiche esposte con la seguente definizione ¹.

La ricerca operativa può essere considerata l'applicazione del metodo scientifico, da parte di gruppi interdisciplinari, a problemi che implicano il controllo di sistemi organizzati (uomo-macchina), al fine di fornire soluzioni che meglio servono gli scopi dell'organizzazione nel suo insieme.

■ ESEMPIO 7.1 ² ■

Un'azienda aveva 5 fabbriche addette alla produzione di una materia prima fondamentale che veniva poi smistata presso altri 15 stabilimenti, i quali fabbricavano prodotti finiti; alcuni di questi stabilimenti fabbricavano gli stessi prodotti.

Poiché le spese di trasporto della materia prima dagli stabilimenti di fabbricazione a quelli di lavorazione erano considerevoli, fu intrapreso uno studio per programmare i trasporti al fine di minimizzare i costi.

Il problema, così posto, era un normale problema di assegnazione delle risorse risolubile con metodi standardizzati, ma quando si cominciarono a raccogliere ed analizzare i dati, si notò che la materia prima fornita dai 5 stabilimenti e le altre materie comprate direttamente dagli stabilimenti di lavorazione, non consentiva a molti dei 15 impianti di fabbricazione di lavorare al massimo delle capacità di produzione.

Inoltre, espandendo l'indagine, si riscontrò che:

- l'effetto della capacità non utilizzata variava da impianto a impianto;
- i costi di produzione erano incrementati, ancor più che dai costi di trasporto, dai costi dovuti alla mancata utilizzazione degli impianti;
- l'effetto della capacità non utilizzata dell'impianto sui costi di produzione dipendeva dal modo in cui veniva programmata la produzione stessa.

L'analisi del problema proseguì con una seconda analisi tendente ad individuare quale fosse la programmazione della produzione per ogni impianto tale da consentire di minimizzare i costi totali.

Altre indagini misero in seguito in evidenza che si potevano ottenere notevoli riduzioni dei costi cambiando la struttura del magazzino dei prodotti semilavorati e, di conseguenza, vennero iniziati studi relativi alla gestione delle scorte.

Il problema, nato come semplice problema di trasporti, si era così andato estendendo fino a interessare tutti i diversi settori dell'azienda. ■

■ ESEMPIO 7.2 ² ■

Diversi anni or sono una delle maggiori compagnie commerciali degli Stati Uniti decise di utilizzare le tecniche proprie della R.O. per risolvere il seguente problema relativo alle hostess.

¹ Da R.L. Ackoff, M.W. Sasieni, *Fondamenti di Ricerca Operativa*, Etas, Milano, 1972.

² Da R.L. Ackoff, P. Rivett, *Introduzione alla Ricerca Operativa*, Franco Angeli, Milano, 1970.

Presso la compagnia erano impiegate un migliaio di hostess, la maggior parte delle quali lasciava la compagnia prima dello scadere di due anni di servizio dalla data di assunzione, prevalentemente per sposarsi.

La rotazione del personale era ben accetta dalla compagnia, in quanto, all'inizio del servizio le hostess erano piene di entusiasmo e il servizio reso era di alta qualità, ma con il passare del tempo si annoiavano e il servizio ne risentiva.

Il ricambio del personale era quindi molto rapido e la compagnia era costretta ad assumere e addestrare continuamente nuove hostess. Per l'addestramento era stata istituita una scuola in grado di condurre contemporaneamente un massimo di tre corsi, ciascuno di 50 ragazze.

Ogni corso durava circa 5 settimane e mezza per l'addestramento e mezza settimana per l'equipaggiamento; altre due settimane erano necessarie per raggiungere la scuola prima di iniziare i corsi e per raggiungere la base dopo l'addestramento. In totale il periodo di preparazione delle nuove assunte durava 8 settimane.

La compagnia desiderava determinare la frequenza dei corsi e il numero ottimale di ragazze per ogni corso.

Ad un primo approccio il problema si presentava come un problema di scorte in quanto, alla conversione di una ragazza (materia prima) in un'hostess (prodotto finito) mediante l'addestramento (processo di produzione), dovevano essere associati un costo di mantenimento in magazzino (stipendio pagato alle hostess in eccesso, non utilizzate) e i costi di carenza (dovuti a misure di emergenza come cancellazione di voli per mancanza di hostess).

Il problema consisteva nella determinazione del numero ottimale di cicli di produzione (corsi di addestramento) e del loro dimensionamento.

Furono applicate le tecniche matematiche adeguate e si ottennero risultati eccezionali. Seguirono poi altre ricerche tese a:

- valutare la previsione della necessità di personale;
- determinare una ripartizione migliore delle ore di volo;
- pianificare in modo migliore le tabelle dei voli e le giornate di riposo;
- ottimizzare il numero di riserve richieste in ogni base della compagnia.

Anche in questo caso, partendo da un problema che, a prima vista, poteva apparire abbastanza isolato, si estese la ricerca ad un ambito molto più vasto scoprendo interconnessioni con tutti gli altri settori dell'attività della compagnia. ■

Naturalmente non si deve pensare che uno studio di R.O. non giunga mai alla fine, in quanto si scoprono sempre nuove interconnessioni con problemi analoghi.

In realtà ogni singolo problema deve essere affrontato nel suo contesto cercando, da una parte di non sottovalutare gli effetti collaterali, ma dall'altra di isolarlo e risolverlo, limitatamente al suo contesto, nel modo migliore possibile; le interconnessioni emerse durante lo studio del problema potranno essere oggetto di successive analisi; i risultati di volta in volta raggiunti devono essere applicati, se vantaggiosi, quanto più rapidamente possibile.

Un progetto di ricerca operativa risulta valido solamente se *economicamente vantaggioso* ed avrà fine quando gli ulteriori risparmi che può individuare non sono tali da giustificare la prosecuzione dello studio, o comunque quando si aprono altri campi di ricerca economicamente più vantaggiosi.

7.3 Problemi e modelli come rappresentazione della realtà

Per poter risolvere un problema, di qualsiasi tipo esso sia, è necessario innanzi tutto individuarlo.

Infatti, nella pratica si avvertono spesso situazioni di disagio che si ritiene possano essere migliorate, ma per poterle modificare è necessario analizzarle e studiarle mediante un *approccio scientifico*.

Per affrontare in modo sistematico uno studio di ricerca operativa è utile distinguere diverse fasi:

- 1) *riconoscimento del problema*: si tratta di comprendere che qualche provvedimento deve essere messo in opera per ovviare ad una situazione di disagio;
- 2) *formulazione del problema*: si devono formulare in modo esplicito sia i bisogni emersi sia i criteri con cui saranno valutate le possibili soluzioni che verranno proposte;
- 3) *costruzione del modello*: il problema deve essere tradotto in un modello matematico (modellizzato) per poter essere studiato quantitativamente;
- 4) *raccolta dei dati*: si devono individuare e raccogliere tutti i dati necessari ad evidenziare le reali condizioni del problema;
- 5) *soluzione del modello*: i dati vengono elaborati per ottenere uno o più soluzioni possibili al problema posto;
- 6) *controllo del modello*: si verificano i risultati forniti dal modello per accertarne la validità;
- 7) *interpretazione dei risultati*: alla luce dei risultati ottenuti si devono riesaminare i criteri secondo cui era stato inizialmente proposto il problema esaminandone la validità;
- 8) *presa di decisioni, attuazione e controllo*: in base ai risultati forniti dallo studio verranno assunte decisioni tecniche e comportamentali tali da modificare la situazione iniziale.

Il riconoscimento dell'esistenza di un problema non è sempre immediato, anzi in generale più che un problema si avverte solamente che devono essere intraprese azioni atte a modificare una data situazione.

Fondamentali risultano, in questa fase, i criteri utilizzati per giudicare la situazione e gli obiettivi che ci si propone di raggiungere.

Infatti, la stessa situazione è molto spesso giudicata in modo discorde da persone con interessi diversi; ad esempio, gli obiettivi di un'impresa possono essere contrastanti, a seconda delle persone che li perseguono:

— i proprietari desiderano profitti;

- gli impiegati desiderano un'occupazione non troppo faticosa e un salario ragionevole;
- i clienti desiderano un prodotto di buona qualità.

Quando si tratta di risolvere un problema inerente la produzione, il proprietario tenderà a massimizzare il profitto, gli impiegati a migliorare la qualità del lavoro e il salario, i clienti chiederanno una migliore qualità dei prodotti.

Nella soluzione del problema diventano fondamentali i *criteri* da utilizzare al fine di perseguire gli obiettivi e quindi i *criteri per la valutazione dei problemi e per la presa di decisioni*.

In generale si può affermare che lo stabilire i criteri per impostare il problema e prendere decisioni è uno dei punti critici di tutto il processo.

Inoltre è necessario porre molta attenzione a non esprimere criteri troppo generali o troppo nebulosi; un obiettivo quale «migliorare i servizi sociali», per poter essere assunto come obiettivo per una ricerca scientifica, deve essere seguito da criteri dettagliati che indichino quali sono gli specifici servizi da migliorare e in quale misura si prevede debbano essere migliorati.

■ ESEMPIO 7.3 ■

In una grande città sono state registrate innumerevoli proteste sul servizio metropolitano; come deve essere impostato il problema per elaborare progetti migliorativi?

I criteri generali da tener presenti, per la soluzione di questo problema, variano a seconda delle persone interessate; vi sono concetti diversi per:

- gli utenti della metropolitana;
- gli utenti del traffico cittadino interessati a problemi di trasporto;
- i contribuenti che finanziano i sistemi di trasporto urbani;
- i politici che inseriscono questa voce nel loro programma elettorale.

Per raggiungere l'obiettivo, molto generale, di migliorare il servizio è dunque necessario definire criteri che permettano di delimitare con precisione il problema.

Tali criteri possono essere, ad esempio: i profitti o le perdite nette, il numero dei passeggeri, i tempi di attesa, i salari del personale, l'efficienza dei treni, l'ampliamento della rete.

Naturalmente, alcuni di questi criteri sono in conflitto tra di loro e scegliere l'uno o l'altro è connesso all'impostazione generale, ovvero ai criteri generali che si decide di utilizzare: se viene attuata una politica di potenziamento dei servizi sociali, si tenderà ad accettare un passivo del servizio di trasporti per mantenere un costo basso del biglietto.

Riconosciuta l'esistenza del problema e formulati i criteri da tenere in considerazione per la sua soluzione, si deve cercare di enunciare esplicitamente e senza ambiguità le parti fondamentali del problema: variabili, parametri, vincoli, obiettivi specifici.

La formulazione esplicita del problema rappresenta il punto di partenza per «costruire» una possibile soluzione.

Le variabili sono le quantità che definiscono il problema; in genere si usa distinguere tra *variabili controllabili* e *variabili fuori controllo*. Le prime sono sotto il diretto controllo di chi assume le decisioni e sono anche indicate come *variabili di decisione*; le seconde non sono controllabili da chi prende le decisioni, ma sono definite dai criteri secondo cui è stato formulato il problema e dagli obiettivi che si intende raggiungere.

Ad esempio, in un problema di scorte di magazzino, il livello al quale si intende portare le scorte è una variabile controllabile, mentre la richiesta di merce nel momento dell'inventario è una variabile incontrollabile.

I parametri si riferiscono, invece, alle quantità costanti che possono essere misurate durante la schematizzazione del problema.

I *vincoli* sono le restrizioni poste sulle variabili (incontrollabili e controllabili). Nell'esempio delle scorte di magazzino i vincoli sono costituiti dallo spazio a disposizione, dal capitale investito, dal tipo di prodotti immagazzinati e così via.

I criteri utilizzati per analizzare il problema portano spesso a definire una funzione, delle variabili del problema, che riassume matematicamente l'obiettivo da perseguire; tale funzione viene indicata come *funzione obiettivo*.

In molti problemi la funzione obiettivo viene espressa come funzione dei costi, per ottenere, compatibilmente con i vincoli, il costo minimo, oppure come funzione dei guadagni per determinare, sempre tenendo conto dei vincoli, il massimo profitto possibile.

Ottenuta una formulazione esplicita del problema, si deve costruire un modello per stabilire i legami che collegano le variabili, i vincoli e la funzione obiettivo.

Per chiarire che cosa si intende per *modello*, può essere utile ricordare che i modelli sono rappresentazioni della realtà e normalmente vengono suddivisi in modelli *iconici*, *analogici* e *simbolici*.

- I *modelli iconici* presentano, in scala diversa, le caratteristiche della realtà; sono modelli iconici le fotografie, le carte geografiche, i modelli di aeroplani, di navi, di treni, i planetari (modelli del sole e dei suoi pianeti), il modello dell'atomo di Bohr; i modelli iconici sono, in genere, concreti e difficili da maneggiare per scopi sperimentali.
- Nei *modelli analogici* viene utilizzato un insieme di proprietà per rappresentare un altro insieme di proprietà; ad esempio, le linee di livello di una carta topografica sono una analogia dell'altitudine, le rappresentazioni grafiche statistiche sono analogie che usano rappresentazioni geometriche, per rappresentare determinate modalità statistiche; i modelli analogici sono rappresentazioni meno concrete, ma più facili da maneggiare dei modelli iconici.
- I *modelli simbolici* sono più astratti: usano lettere, numeri o altri simboli per rappresentare le variabili individuate nel sistema reale; le proprietà del sistema reale sono descritte da un insieme di relazioni simboliche. Sono i

modelli più astratti; rientrano in questa categoria, ad esempio, la legge del moto come $F = ma$ (legge di Newton) e quella dell'elettricità come $V = Ri$ (legge di Ohm).

La R.O. utilizza prevalentemente modelli simbolici, per descrivere l'essenza del problema attraverso espressioni matematiche, tipicamente equazioni e disequazioni.

I modelli simbolici sono vantaggiosi in quanto:

- descrivono il problema in modo molto conciso;
- facilitano la trattazione del problema;
- permettono di considerare contemporaneamente tutte le interrelazioni emerse tra le variabili;
- permettono l'utilizzo dei calcolatori elettronici per le elaborazioni dei dati.

Quando si usa un modello simbolico, è tuttavia utile ricordare che si possono commettere errori, in quanto tali modelli sono un'idealizzazione del problema e quindi un'approssimazione della realtà.

È necessario controllare continuamente che vi sia una forte correlazione tra le previsioni del modello e la realtà; se tale correlazione non esiste è *necessario modificare il modello*.

La difficoltà maggiore che si incontra nella costruzione del modello può essere costituita dalla mancanza di un insieme di criteri chiaramente delineati.

Formulato il modello, si deve procedere alla raccolta dei dati, sempre tenendo conto dei criteri.

Naturalmente si possono verificare casi in cui i dati sono già disponibili e si può passare direttamente all'elaborazione.

Nella ricerca operativa si cerca, in genere, più che di ottenere una possibile soluzione, di ottenere la *soluzione ottimale* ovvero la miglior soluzione possibile; a tal fine sono stati messi a punto molti procedimenti, alcuni dei quali illustrati nei prossimi capitoli.

Si noti tuttavia che la soluzione ottimale viene ottenuta *sulla base del modello* e sarà una buona soluzione del problema solamente se *il modello è una buona rappresentazione della realtà*.

Per tale motivo è necessario controllare continuamente l'aderenza tra modello e realtà, in quanto possono essere state trascurate relazioni importanti oppure possono essere state valutate in modo errato determinate variabili utilizzate dal modello.

Il modo più semplice per controllare la validità del modello è quello di esaminare se prevede o meno gli effetti riscontrati nell'evolvere del tempo, con una precisione tale da poterlo ritenere valido.

Se il modello risulta valido, allora si può accettare come valida anche la soluzione fornita.

Se la soluzione deve essere utilizzata ripetutamente, è comunque meglio continuare ad esaminare ripetutamente il modello e la rispettiva soluzione per essere certi che rimangano validi nel tempo, in quanto, se le condizioni reali sono in continuo mutamento, possono verificarsi cambiamenti tali da invalidare il modello stesso.

In questo caso è necessario rivedere il modello per adeguarlo alle nuove condizioni.

Infine, dopo aver accertato la validità del modello e della soluzione ottenuta, mediante un confronto con i criteri inizialmente posti, si possono formulare le regole di decisione. In effetti l'ultima fase di uno studio di ricerca operativa è proprio la realizzazione della soluzione trovata, tuttavia questa fase non è sempre automatica, poiché, in genere, chi ha elaborato il modello e trovato la soluzione (esperto di ricerca operativa) non è colui che deve prendere le decisioni (dirigente che ha commissionato lo studio).

Il successo della fase di completamento del lavoro dipende quindi dalla cooperazione tra la direzione e il gruppo di ricerca, al fine di sviluppare le procedure richieste per mettere in atto la soluzione prospettata.

In fig. 7.2 sono schematizzate le diverse fasi di uno studio di ricerca operativa.

Fig. 7.2

