

---

# *La Matematica nella Società e nella Cultura*

RIVISTA DELL'UNIONE MATEMATICA ITALIANA

---

ANA MILLÁN GASCA

## **Matematica e organizzazione. Un capitolo della storia della matematica applicata**

*La Matematica nella Società e nella Cultura. Rivista dell'Unione Matematica Italiana, Serie 1, Vol. 2 (2009), n.1, p. 127–156.*

Unione Matematica Italiana

[<http://www.bdim.eu/item?id=RIUMI\\_2009\\_1\\_2\\_1\\_127\\_0>](http://www.bdim.eu/item?id=RIUMI_2009_1_2_1_127_0)

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

---

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

*SIMAI & UMI*

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

La Matematica nella Società e nella Cultura. Rivista dell'Unione Matematica Italiana, Unione Matematica Italiana, 2009.

## **Matematica e organizzazione. Un capitolo della storia della matematica applicata**

ANA MILLÁN GASCA

### **1. – Ottimizzazione e problemi operativi: matematica per guidare le decisioni**

Uno dei settori caratteristici della matematica applicata del Novecento riguarda la modellistica dei problemi organizzativi e di gestione delle operazioni, racchiusi molto spesso nella sfera concettuale della *decisione* <sup>(1)</sup>. A questo scopo sono state sviluppate tecniche matematiche quali la programmazione lineare, l'analisi delle reti di flusso o la teoria di giochi, sotto un'impostazione comune di ottimizzazione. Molto spesso i problemi gestionali sono ricondotti alla sfera scientifica dell'economia oppure dell'ingegneria, ma storicamente l'evoluzione teorica ha poggiato sulle analisi di attività in ambito industriale, militare e amministrativo. Le origini di questo settore della matematica applicata vengono ricondotte di solito alla nascita della ricerca operativa attorno alla Seconda Guerra Mondiale, quando in Gran Bretagna prima e negli Stati Uniti poi i fisici e i matematici furono coinvolti in un lavoro collettivo in collaborazione con i militari per l'analisi delle operazioni belliche: azioni offensive, difesa del territorio, logistica, trasporto.

I problemi operativi riguardano l'organizzazione di uomini e mezzi, inclusi macchine e dispositivi tecnici, per condurre delle attività complesse come quelle delle aziende, delle amministrazioni e dei servizi

<sup>(1)</sup> Questa terminologia fu utilizzata precocemente da George Dantzig, pioniere della ricerca in questo ambito (Dantzig, Veinott, [12]), cfr. sotto § 7.

pubblici, dei grandi cantieri o delle campagne militari. Tali problemi erano presenti già nel mondo antico, e non a caso la figura di ingegnere-architetto che riunisce la competenza tecnica con la capacità organizzativa si presenta già in quel periodo. Essi sono diventati tipici del lavoro e delle attività economiche dell'Europa moderna, dalle miniere, alle manifatture, alla costruzione della rete organizzativa degli stati moderni, alle fortificazioni militari, fino allo sviluppo dell'industrializzazione. I primi tentativi di trattare matematicamente alcuni esempi di problemi operativi risalgono al periodo a cavallo fra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento, ed è legato ai contributi di autori come Gaspard Monge, Charles Augustin Coulomb e Charles Babbage, tre scienziati attivi anche in campo tecnico. Essi proseguirono, anche se non in modo sistematico, durante l'Ottocento. I primi problemi di questo genere trattati con metodi riconducibili all'idea di ottimizzazione si presentarono come conseguenza delle responsabilità organizzative degli ingegneri, dapprima nelle opere di fortificazione militare, poi nelle opere civili di pubblica utilità. Ulteriori problemi si posero all'attenzione degli ingegneri e dei dirigenti aziendali con lo sviluppo dei sistemi di fabbrica e delle reti di distribuzione tipici del processo di industrializzazione.

Tuttavia, all'inizio del Novecento scomparvero quei pregiudizi che nei decenni precedenti avevano precluso l'uso di "numeri e formule" nella sfera operativa e decisionale tipica dell'ingegneria industriale e dei grandi sistemi tecnologici, laddove, oltre le macchine o i dispositivi tecnici, erano coinvolti anche gli esseri umani (lavoratori, personale tecnico e amministrativo, utenti, clienti). Il percorso storico ricalca, anche in questo settore, le motivazioni e gli ostacoli incontrati negli altri tentativi di applicare la matematica alle scienze non fisiche, quali l'economia o le scienze della vita (Israel, [18]). Nel "nuovo inizio" rappresentato dalla nascita della ricerca operativa si ritrova l'eco dei lavori dei pionieri sette-ottocenteschi, soprattutto per quanto riguarda la fiducia di stampo illuministico nell'uso della matematica in ogni campo teorico e pratico.

Le potenzialità dell'approccio modellistico e lo sviluppo di nuove tecniche matematiche di ottimizzazione hanno dato nel secolo scorso un impulso straordinario a questo settore, che oggi è molto florido (Boyssou, [8]):

«Al giorno d'oggi è ormai difficile “sfuggire alla ricerca operativa”. Che si sia passeggero del trasporto aereo o ferroviario, impiegato in un'impresa di trasporti, utente di telefonia mobile, cliente di una banca o di una compagnia di assicurazioni, oppure semplice consumatore di prodotti dell'industria agroalimentare o manifatturiera, oggi giorno si è consumatore di ricerca operativa».

Queste applicazioni della matematica alla vita e alle attività pratiche hanno contribuito a diffondere una visione della matematica come sapere utile nella civiltà tecnologica.

## 2. – Modellistica matematica, scienza dell'organizzazione e scienza della complessità

La progettazione dell'impianto organizzativo dei sistemi complessi e il loro governo nei paesi avanzati sono diventati nel corso del Novecento oggetto di studi approfonditi, e in particolare terreno fertile di applicazione della matematica in contesti svariati: grandi fabbriche e sistemi di produzione di beni e servizi; reti di comunicazione, di trasporto e di distribuzione di beni e di fornitura di energia; impianti tecnici di grandi dimensioni, come le centrali nucleari; configurazioni di sistema nella sanità, nelle strutture del “welfare state” e nella pubblica amministrazione; oltre all'intera sfera militare. Da un punto di vista astratto, questi esempi rientrano nel *problema organizzativo*: dare una *struttura ordinata* a qualcosa, mettendo i vari elementi che la compongono in connessione fra loro, così che possano *operare* insieme per un *fine* determinato<sup>(2)</sup>. Vi è anche un secondo insieme di problemi che riguardano una configurazione non destinata a durare, come nelle campagne belliche e i relativi problemi logistici, o nelle operazioni di emergenza, o ancora nella gestione dei progetti che

<sup>(2)</sup> Si veda ad esempio la voce “organizzare” nel *Vocabolario della lingua italiana* di Aldo Duro, Istituto della Enciclopedia Italiana (dove la prima accezione riguarda il concetto biologico di organizzazione), che aggiunge altri due aspetti, anch'essi trattati dalla scienza dell'organizzazione, ossia l'esercizio e il coordinamento delle risorse umane: 2. Predisporre quanto è necessario per l'esecuzione di qualcosa. 3. Unire, preparare un gruppo più o meno vasto di persone attraverso un'opera di sensibilizzazione, di propaganda, di coordinazione, per raggiungere un determinato fine.

portano alla realizzazione di un'opera o sistema (il cosiddetto “project management”). In entrambi i casi si tratta di configurare e rendere operativa una struttura ordinata che collega un gran numero di elementi, ossia di un problema che riguarda la *logica dell'azione*.

Con più o meno fortuna, nel corso della seconda metà del Novecento si è assistito al tentativo di ricondurre tutte le pratiche amministrative-gestionali-decisionali a un'unica *scienza dell'organizzazione* volta allo studio delle *organizzazioni formali* oppure dei *sistemi organizzativi*. L'uso dell'espressione “sistema organizzativo” riflette la circostanza che l'archetipo dell'organizzazione è la fabbrica, ossia, in termini più moderni, i sistemi di produzione industriale con una forte automazione, e, più in generale, i grandi sistemi tecnologici (“large scale systems”) che hanno trasformato il modo di vita nel Novecento. La scienza dell'organizzazione si dovrebbe occupare di problemi strutturali (configurazione di reti e sistemi, gerarchia) e dinamici (azione collettiva, contrattazione, presa delle decisioni, flussi materiali e dell'informazione). Si tratta quindi di una scienza sociale applicata, ossia rivolta alla prassi, oppure, secondo un altro punto di vista, un nuovo settore tecnologico, le cosiddette “tecnologie organizzative” basate su concetti teorici di stampo matematico quali sistema, controllo, rete di flusso (Lucertini, Telmon, [27]). Da un punto di vista storico-concettuale, e riprendendo l'efficace visione del rapporto fra teoria e tecnica suggerita da Alexandre Koyré, si tratta di un nuovo capitolo del “fare teoria della pratica”<sup>(3)</sup>.

La scienza e tecnica dell'organizzazione si avvale del contributo della psicologia, della sociologia e dell'economia, ma è fortemente caratterizzata dall'influsso del modo di pensare i fenomeni reali della tecnologia – soprattutto per quanto riguarda l'automatizzazione e l'ingegneria dei sistemi – ed anche dalla visione matematica della realtà di

<sup>(3)</sup> Nel suo *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, lo storico della filosofia e della scienza di origine russa sottolineava che esiste un “pensiero pratico essenzialmente differente dal pensiero teorico della scienza” e aggiungeva: “Ciò ben inteso non vuol dire che la scienza non possa volgersi verso la tecnica e fare *teoria della pratica*; allora, appunto, appare la *tecnologia*, scienza tecnica e tecnica scientifica, che in rapporto alla tecnica empirica è ciò che la scienza greca è in rapporto al sapere dei geometri egiziani” (Koyré, [24]: 85).

stampo modellistico. L'uso della matematica, e soprattutto l'approccio modellistico che lavora su schemi formali suscettibili di essere applicati nei contesti più svariati porta comunque in modo naturale a vedere in modo unificato tutti i problemi di pianificazione e gestione di un'organizzazione. Nel contempo, i metodi matematici di ottimizzazione portano con sé una visione molto marcata della razionalizzazione dell'azione collettiva basata sull'individualismo metodologico classico: come ricorda Denis Boyssou [8], tipico della strategia del ricercatore in ricerca operativa è «il desiderio di intervenire nelle organizzazioni complesse utilizzando dei modelli formali la cui legittimità è di ordine "individuale": il paradigma centrale della ricerca operativa è quello della *decisione* presa da un *decisore*».

Non sono mancate nel secolo scorso le polemiche sull'utilità o meno dell'ottimizzazione matematica nelle applicazioni reali. Basti citare le critiche pungenti e provocatorie di uno dei pionieri della ricerca operativa, Russell L. Ackoff, presentate in un famoso articolo del 1979 sulla rivista dell'influente Operational Research Society, dal titolo "Il futuro della ricerca operativa è il passato" ([2]). Ackoff accusava i cultori della nuova disciplina di essere "obnubilati" dalla ricerca di un ottimo e di non occuparsi realmente delle questioni organizzative. Negli Stati Uniti le denominazioni disciplinari *industrial engineering* (ingegneria industriale) e *operations research* (ricerca operativa) sono usate spesso come sinonimi, e tuttavia sussistono delle differenze di impostazione riguardo all'uso dei metodi matematici (Miller, Schmidt, [31]: 8):

«A causa del contrasto che esiste, riguardo all'orientamento matematico, fra l'ingegneria industriale tradizionale e la ricerca operativa, può essere utile concepire queste due aree inquandrandole in uno spettro o continuum di attività con l'IE da un estremo e OR dall'altro. L'IE tradizionale è tendenzialmente più applicabile ai problemi negli ambienti manifatturieri. All'altro estremo dello spettro, OR ha una portata più ampia, poiché è orientata verso problemi a livello più macroscopico in un'ampia varietà di aree di applicazione di cui la produzione manifatturiera è solo un esempio. La ricerca operativa inoltre si affida più fortemente ai concetti matematici, e specialmente ai modelli matematici di quanto non faccia la IE tradizionale.

[...] Tuttavia, vi è una grande sovrapposizione [...] Ne è un esempio la progettazione degli impianti. Gli ingegneri industriali si sono occupati tradizionalmente di questioni di progettazione di impianti quali determinare la

migliore configurazione di uno stabilimento oppure la migliore ubicazione di un magazzino di distribuzione. Sono stati usati al riguardo strumenti di analisi tradizionali quali i diagrammi di flusso, schemi, elenchi di verifica prestabiliti. Tuttavia, alcune tecniche più recenti come la teoria delle code e la programmazione matematica sono state applicate con successo alla risoluzione dello stesso genere di problemi di progettazione di impianti. In più, la portata del problema della progettazione di impianti è stato esteso oltre il contesto industriale ai problemi di configurazione e ubicazione di uffici postali, aeroporti, organizzazioni sportive e altri servizi. Altre aree di attività e problemi che si collocano a metà di questo spettro IE/OR sono la gestione delle scorte, le previsioni, la tempistica e il controllo di qualità.»

Tuttavia, al giorno d'oggi, i manager, gli ingegneri e i funzionari o amministratori che agiscono in questo contesto hanno alle spalle sempre di più una formazione matematica solida nel campo della ricerca operativa (programmazione matematica, teoria delle reti di flusso, inventory control, teoria delle code, ottimizzazione). Negli Stati Uniti i corsi di studio in *business administration* e in *industrial engineering* offrono questa formazione. In molti paesi europei, le scuole e facoltà di ingegneria hanno introdotto corsi di studio in ingegneria gestionale, che registrano – anche in Italia – un aumento costante del numero di iscritti. In Italia sono ancora gli studi di giurisprudenza la via principale per accedere ai posti direttivi della pubblica amministrazione, poiché la pratica dell'amministrazione o gestione viene collegata alla sfera teorica del diritto. Tale pratica viene quindi considerata nel nostro paese lontana dall'ambito del quantitativo e dalla sfera concettuale della matematica; eppure queste idee potrebbero cambiare radicalmente negli anni prossimi<sup>(4)</sup>.

<sup>(4)</sup> Ad esempio, nella Scuola Superiore della Pubblica Amministrazione la formazione avanzata prevede un indirizzo "manageriale gestionale": «I corsi della SSPA portano il dirigente-imprenditore dello Stato a conoscere come gestire progetti complessi, come valutare e rappresentare l'ambiente particolare in cui si trova ad operare, come usare gruppi di dati che non hanno parametri comuni, ma anche come farsi seguire dai collaboratori. Per ottenere queste capacità vengono trattate tecniche che ormai sono irrinunciabili, come il project management, l'elaborazione degli indicatori, le teorie delle decisioni, la reingegnerizzazione dei processi» (<http://www.sspa.it/>). Si osservi il linguaggio trasferito dall'ambito tecnologico e dell'ingegneria; le tecniche matematiche compaiono spesso sotto l'etichetta di "teoria delle decisioni".



La scienza dell'organizzazione è stata un prodotto tipico della cultura del Novecento. L'esigenza di creare un tale campo di riflessione scientifica nacque dalla complessità crescente delle strutture organizzative del mondo trasformato dalla Seconda Rivoluzione Industriale: fabbriche sempre più efficienti e automatizzate, elettrificazione, infrastrutture viarie e ferroviarie, reti telefoniche (Millán Gasca, [29]). Questa esigenza fu oggetto di un ricco dibattito all'interno dell'American Association of Mechanical Engineers a partire dal 1880, dal quale emersero le idee di "systematic management" e di "scientific management", quest'ultima sviluppata da Frederick W. Taylor (1856-1915) per far riferimento alla necessità di condurre accurate analisi logiche e quantitative dell'organizzazione delle fabbriche (flussi produttivi, tempi di lavoro, analisi delle operazioni). Una formulazione più astratta, anche se priva dell'accento posto sulle *misurazioni* di tempi, operazioni e produttività nel processo produttivo del taylorismo, fu avanzata dall'ingegnere minerario francese Henry Fayol (1841-1925) e presentata compiutamente nella sua opera *Amministrazione industriale e generale* (1916). Ancora più ambiziose furono le idee di uno dei protagonisti della Rivoluzione russa, Bogdanov (pseudonimo di Aleksandr A. Malinovskij, 1873-1928), sviluppate nella seconda decade del secolo scorso e presentate nel 1921, nella prima conferenza sull'organizzazione del lavoro e della produzione della neonata Unione Sovietica. Egli prospettava la creazione di una scienza universale dell'organizzazione da lui chiamata *tektologiya* (dal verbo greco *tectaino* che significa "costruisco"), basata su una visione dei concetti di struttura e relazione derivata dalle categorie matematiche, anzi, più specificamente come una vera e propria generalizzazione logica della matematica <sup>(5)</sup>:

«le relazioni strutturali possono essere generalizzate con lo stesso grado di formalismo schematico delle relazioni fra grandezze nella matematica, e su questa base i compiti organizzativi possono esser risolti per il tramite di metodi analoghi a quelli della matematica. Anzi, considero la relazione quantitativa un

<sup>(5)</sup> A. Bogdanov *Tektologiya: Vseobshchaya Organizatsionnaya Nauka* (1925, 3<sup>rd</sup> ed.), citato in Urmantsev [38], p. 238.

tipo speciale di relazione strutturale, e la matematica stessa, una branca della scienza generale dell'organizzazione che per motivi particolari si è sviluppata prima. Ciò spiega il *gigantesco potere pratico della matematica come strumento per l'organizzazione della vita*».

Nel 1959 Ackoff parlava del “sistema” inteso come concetto chiave e unificante nella ricerca scientifica futura, o piuttosto di un nuovo vedere i sistemi – studiati in realtà da secoli in ambito scientifico-tecnico – “come entità piuttosto che come conglomerazioni di parti”. Se le idee di Bogdanov erano rimaste allo stadio di progetto, Ackoff perse nel seguito la fiducia in questo tentativo di rinnovamento filosofico della scienza su concetti sistemici di stampo matematico. Eppure queste idee furono riproposte da Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) nel suo famoso *Teoria generale dei sistemi*, nel quale faceva riferimento a una “teoria delle organizzazioni formali, e cioè una teoria vertente su strutture istituite mediante accurate programmazioni, quali ad esempio quelle dell'esercito, della burocrazia, delle imprese economiche”<sup>(6)</sup>. Lo studio matematico delle organizzazioni formali tipiche della civiltà moderna è stato una componente a volte oscurata delle idee su una “scienza della complessità”.

### 3. – «Il gigantesco potere pratico della matematica per l'organizzazione della vita»: uno sguardo alla storia

L'uso della matematica per l'organizzazione delle attività e del lavoro umano ha radici molto antiche, ma è spesso considerato un aspetto minore, se confrontato con l'applicazione della matematica in ambito scientifico e persino in ambito tecnologico stretto (la progettazione di macchine o edifici). Di conseguenza, tale uso è stato sistematicamente escluso dalla ricostruzione storica dell'evoluzione del pensiero matematico, ancor più delle applicazioni della matematica all'attività tecnica meccanica o architettonica. Apriamo quindi una breve parentesi per fornire alcune informazioni storiche al riguardo.

<sup>(6)</sup> Ackoff [1]; von Bertalanffy [7] (si veda l'edizione italiana, 2004: 33).

I documenti finora conosciuti e studiati sulla matematica antica mostrano che i segni e le parole per designare i numeri, le tecniche di computazione numeriche, le rappresentazioni grafiche e le parole per designare le figure geometriche e la formulazione e i metodi di risoluzione dei problemi che riguardano quantità e figure fecero la loro comparsa in Mesopotamia e in Egitto in collegamento con l'attività edilizia (scavo e costruzione) e amministrativa (esazione di tasse, inventari di magazzini, pagamento di commesse, pagamento degli operai, agrimensura). Tale insieme di conoscenze tecniche era privilegio degli scribi, coloro che padroneggiavano la difficile tecnica della scrittura, i quali rappresentarono la prima "professione intellettuale": esse servivano loro allo scopo di svolgere le loro mansioni al servizio del tempio o del re. Anche nell'opera classica della matematica cinese, i *Nove capitoli sui procedimenti matematici* (*Jiuzhang suanshu*), i procedimenti matematici sono esposti attraverso problemi di questo genere; la prima menzione scritta di quest'opera che è stata trovata finora può leggersi in un'iscrizione presente su un recipiente che serviva a stabilire una misura di capacità per il grano, recante il sigillo di un alto funzionario, il Ciambellano per il Tesoro dello stato sotto la dinastia Han.

Non si tratta, con questo, di entrare nella discussione epistemologica sulle origini delle idee matematiche, ma di sottolineare che la documentazione storica mostra l'uso continuativo, e fin da tempi molto antichi, di strumenti matematici nelle attività amministrative (ossia nell'ambito di competenza delle burocrazie), oltre che nelle attività tecniche. Essi formarono la tradizione della matematica pratica, una matematica del pressappoco – per usare l'espressione di Alexandre Koyré – la cui storia presenta molti tratti comuni con quella di altri saperi pratico-tecnici. Tale tradizione non è stata eliminata dalla creazione dell'idea greca di matematica "pura", bensì ha interagito con essa.

Nell'Europa dell'Alto Medioevo e dell'Età Moderna, la matematica pratica accompagnò la conduzione delle compagnie commerciali e delle banche, da una parte, e l'amministrazione dei nascenti stati nazionali, dall'altra. La contabilità (a partire del XIII secolo) e le indagini e tavole statistiche (a partire dal XVI) rappresentavano la

descrizione quantitativa di un fiorire di attività sempre più complesse e interconnesse. L'evoluzione del modo di vita europeo verso la modernità sollevò problemi organizzativi difficili da risolvere senza una conoscenza più accurata dei dati demografici ed economici. Sulla scia delle idee di Bacone, alcuni studiosi britannici difesero nel Seicento la convenienza di sviluppare una aritmetica politica, giustificata dalla necessità di conoscere “la Simmetria, la Struttura e la Proporzione” della pratica della politica – per usare le parole di William Petty (1623-1687). Si trattava di sviluppare un “calcolo sociale” – a partire dallo studio delle tavole demografiche – le cui applicazioni si estendevano al pubblico (al benessere sociale) e al privato (ad esempio ai criteri equi nelle assegnazioni dei contributi e premi delle assicurazioni).

Queste idee ebbero però poche ricadute reali nell'attività gestionale e amministrativa. L'amministrazione delle imprese commerciali e delle attività manifatturiere era posta sotto la responsabilità di mercanti e imprenditori coadiuvati dai contabili. Era quindi una competenza pratica derivata dall'esperienza. Nelle amministrazioni statali, la maggioranza dei funzionari in Europa uscivano dalle facoltà universitarie di studi giuridici, e l'aritmetica politica ebbe pochi adepti. Basti ricordare che la parola “Statistik” fu usata per la prima volta nell'università tedesca attorno alla metà del Settecento in riferimento allo studio della pubblica amministrazione.

Nella Francia del Settecento l'aritmetica politica suscitò un notevole interesse fra gli illuministi e diventò con Condorcet un progetto ancora più ambizioso, ossia l'idea di sviluppare una matematica sociale, una scienza matematica in grado di contribuire a rendere razionale la vita sociale con l'ausilio potente del calcolo delle probabilità. Sono questi i primi passi dell'idea oggi generalmente condivisa dell'utilità dell'informazione numerica (*quantificazione*) come base razionale delle decisioni; ma anche di quella più discussa – e che è tuttavia una componente fondamentale delle visioni scientiste contemporanee – secondo la quale soltanto una formulazione matematica dei problemi (*matematizzazione*) esprime l'idea di razionalità delle decisioni.

#### 4. – Coulomb e Monge: il genio militare e l'organizzazione del lavoro nei cantieri di fortificazione

Ad aprire la strada ai metodi matematici – oppure, più modestamente, ai numeri e alla quantificazione – nei problemi di amministrazione e gestione furono due nuove categorie professionali che si affermarono nel corso dell'Ottocento: gli ingegneri e i dirigenti aziendali. La prima categoria era quella degli ingegneri *moderni*, formati secondo il modello dell'École Polytechnique. Con la fondazione di questa scuola nel 1794 il Comitato di salute pubblica della Francia rivoluzionaria offrì una alternativa alla formazione nei funzionari dello Stato: sostituire alle lettere classiche la matematica e all'educazione giuridica quella scientifica, seguendo una impostazione già esplorata nella scuola del genio militare e che portava l'impronta culturale di Gaspard Monge. Proprio fra gli ingegneri appartenenti ai corpi tecnici al servizio dello stato emersero alcuni dei più importanti contributi – anche se sporadici – alla matematizzazione dei problemi operativi e decisionali.

Due contributi pionieristici si collocano ancora nell'ambito tradizionale del genio militare, che nel corso del Settecento si era specializzato nella costruzione delle fortificazioni militari con l'uso essenziale della forza umana e di alcuni semplici dispositivi tecnici, ma che coinvolgeva in ogni caso numeri notevoli (in termini di spesa, uomini e dimensioni del cantiere). Si tratta di due lavori di Charles Augustin Coulomb (1736-1806), ingegnere militare, e di Gaspard Monge (1746-1818), professore sia della scuola del genio miliare a Mézières sia dell'École Polytechnique, entrambi noti per le ricerche matematiche legate a problemi tecnici. La loro originalità risiede nel fatto che in questi lavori essi non si occupano di rendimento delle macchine, di resistenza dei materiali oppure di strutture, bensì di problemi di un altro genere: il lavoro umano, nel caso di Coulomb (che lavorava sulla scia di un precedente studio di Daniel Bernoulli riguardante la forza umana per supplire alla mancanza di vento nelle navi), e il trasporto della terra nel caso di Monge. La memoria di Coulomb *Risultati di varie esperienze destinate a determinare la quantità di azione che gli uomini possono fornire tramite il loro lavoro giornaliero, a seconda*

*dei diversi modi di impiegare le loro forze*, presentata all'Accademia delle Scienze di Parigi nel 1778 e pubblicata nel 1799, combinava una formulazione matematica in termini di ottimizzazione del trasporto di fardelli da parte di operai (determinare il fardello che *massimizza* ciò che egli chiamava “effetto utile” del lavoro, attraverso il semplice uso delle derivate) e uno studio empirico accurato, in modo del tutto analogo a quanto fatto da lui per i problemi di tecnica della costruzione nel suo più noto *Saggio sulla applicazione delle regole dei massimi e minimi ad alcuni problemi di statica relativi all'architettura* (1773). Quanto a Monge, attorno al 1776 egli iniziò a occuparsi del problema di *minimizzare* i costi di trasporto delle masse di terra e di altri materiali in rapporto ai possibili itinerari e alle condizioni relative, per esempio, alla necessità di attraversare un fiume, sia nel caso di esistenza di uno o più ponti, sia nel caso in cui sia necessario costruirli. Seguendo il suo caratteristico stile, egli pose anche il problema del trasporto da un punto di vista geometrico astratto, considerandolo prima nel piano, poi nello spazio, ma adoperando in questo caso tecniche differenziali. Il suo lavoro *Sulla teoria degli sterri e dei riporti* fu pubblicato nel 1784<sup>(7)</sup>.

## 5. – Un problema cruciale: l'organizzazione industriale

Le piazze forti erano ancora progetti tecnici pre-industriali, nei quali emergeva la complessità organizzativa, pur senza presentare quasi nessun elemento di meccanizzazione. Coulomb e Monge si trovarono a occuparsi di quello che, nel Novecento, sarà chiamato analisi delle attività (activity analysis), problemi di assegnazione (allocation), problemi di trasporto oppure problemi di programmazione. Questi studi pionieristici rappresentano la manifestazione di un'idea-guida derivata dalla cultura dell'Illuminismo: era necessario condurre una “razionalizzazione” sulla base della matematica delle attività che sono poste sotto la responsabilità dell'ingegnere. In essi si manifestava anche una nuova forma di razionalità tecnica che consi-

(7) Per altri dettagli riguardo alle vicende accennate in questo paragrafo e nel successivo § 5 rinvio a Millán Gasca [29], cap. 8.

derava la realtà da un punto di vista dinamico, e quindi individuava le attività interdipendenti, i tempi, i costi; essa si manifestava come il terreno naturale per mettere alla prova la quantificazione. E tuttavia, nel corso dell'Ottocento si ebbero solo contributi sporadici in questa direzione, anche se innovativi e di grande interesse. Tali contributi riguardavano questioni più moderne, legate all'industrializzazione: l'organizzazione del lavoro in fabbrica, l'organizzazione della rete ferroviaria e la localizzazione industriale.

L'opera più autorevole e diffusa nel corso del secolo fu pubblicata da Charles Babbage (1792-1871): si tratta di *Sull'economia delle macchine e delle manifatture* (1832), dedicata a un'analisi sistematica dello sviluppo degli impianti produttivi inglesi. Babbage riteneva che nel suo paese le forze si disperdessero in una miriade di iniziative industriali individuali e nell'ignoranza dell'esperienze altrui. Si può dire che, grazie all'apertura culturale del suo autore, in quest'opera singolare convergevano l'approccio della moderna ingegneria francese – egli cita il lavoro di Coulomb, di Perronet e di de Prony –, la ricca esperienza di quasi mezzo secolo di sviluppo delle fabbriche in Inghilterra e infine, le riflessioni dei pionieri della nuova scienza economica, come la descrizione della divisione del lavoro di Adam Smith (1723-1790) nella sua *Indagine sulla natura e sulle cause della ricchezza delle nazioni* (1776) e le idee dell'italiano Melchiorre Gioia (1767-1829) nel suo *Nuovo prospetto delle scienze economiche* (1815-1817)

La prima parte dell'opera di Babbage era dedicata all'aspetto prettamente tecnico degli impianti, ossia alle macchine; ma l'autore considerava la fabbrica non come un agglomerato di macchine, ma come un vero e proprio sistema, e questo punto di vista era sviluppato nella seconda parte, dedicata agli aspetti che potremmo definire, in termini moderni, di economia e organizzazione industriale.

Dal punto di vista organizzativo, la manifattura o fabbrica, rispetto ai laboratori artigiani o il lavoro a domicilio, rappresentava una modifica quantitativa dovuta all'aumento delle dimensioni fisiche del luogo dove si produce e all'aumento del volume della produzione. Era quindi necessario, affermava Babbage, per affrontare la concorrenza, "disporre tutto il sistema" allo scopo di rendere minimo il prezzo del prodotto. Egli affermava quindi l'esigenza di governare il



Copia conservata presso la Biblioteca del Dipartimento di Matematica dell'Università di Roma "La Sapienza" della traduzione italiana, pubblicata a Firenze nel 1834, della prima edizione di *On the economy of machinery and manufactures* di Babbage (la copia proviene dalla biblioteca della Reale Scuola degli Ingegneri).



237. Prezzo di 12 mila spilli, N°. 6, lunghi  $\frac{1}{2}$  di pollice come si fabbricavano nel 1760, col prezzo di ciascuna operazione separata, estratto dalla Memoria del Peronnet.

OPERAZIONI	Tempo per	Prezzo della	Guadagno	Prezzo di	
	fare 12 mila spilli	fabbricazio- ne di 12. mila spilli	giornaliero dell'operaio	strumenti e di materie prime	
	Ore	Pence	Pence	Pence	
1. Filo di rame . . . . .	...	...	...	24.75	
2. Addirizzatura e tagliatura . . . . .	4.2	0.5	4.5	...	
3. {	Appuntatura indigrosso . . . . .	4.2	0.625	40.0	...
	Giratura della forma (1) . . . . .	4.2	0.875	7.0	...
	Finimento dell'appuntatura . . . . .	.8	0.5	9.375	...
3. {	Giratura della forma . . . . .	4.2	0.5	4.75	...
	Taglio delle estremità appuntate . . . . .	.6	0.375	7.5	...
4. {	Fattura delle spirali . . . . .	.5	0.125	3.0	...
	Taglio delle punte . . . . .	.8	0.375	5.625	...
	Combustibile per rinoscere . . . . .	...	...	...	125
5. Apposizione dei capi . . . . .	42.0	0.333	4.25	...	
6. {	Tartaro da pulire . . . . .	...	...	...	5.
	Tartaro da bianchire . . . . .	...	...	...	0.5
7. Foratura delle Carte . . . . .	4.8	5	2.0	...	
Carta . . . . .	...	...	...	1.0	
Consumo d'arnesi . . . . .	...	...	...	2.0	
	<u>24.3</u>	<u>4.708</u>			

Tabella riassuntiva del processo di fabbricazione degli spilli e dei costi di produzione nelle manifatture francesi di Laigle, in Normandia, presentata da Babbage in *On the economy of machinery and manufactures* (la tabella riprodotta è tratta dalla traduzione italiana del 1834). I dati numerici sono desunti da una memoria dell'illustre ingegnere francese, direttore del corpo di *ponts et chaussées*, Jean-Rodolphe Perronet (1708-1794). La tabella descrive la sequenza delle operazioni, dalla "addirizzatura e tagliatura" del filo di rame alla foratura della carta nella quale sono inseriti gli spilli per la vendita; e i tempi di ogni operazione e il guadagno di ogni tipo di operaio a seconda della mansione. Sono i dati necessari per minimizzare il costo, ma Babbage non presenta un tentativo di costruire una funzione obbiettivo.

sistema, in vista di un obiettivo quantificabile e quindi ottimizzabile (in questo caso, minimizzare il costo). Egli considerava molti aspetti quali i prezzi, le materie grezze, l'eccesso di produzione, le ricerche necessarie prima di qualunque tentativo di creare uno stabilimento, il controllo o verifica della qualità, e fattori umani quali quelli riguardanti i rapporti con gli operai. Ma, soprattutto, egli analizzava la sequenza delle operazioni di un processo produttivo e le variabili che potevano essere considerate: numero di operazioni, tempi di lavorazione. A differenza di quanto aveva fatto riguardo alla meccanizzazione, per illustrare gli aspetti "gestionali" egli non metteva a confronto processi produttivi di oggetti diversi, bensì prendeva spunto da un caso particolare. Si trattava dell'organizzazione della manifattura degli spilli, un esempio ben noto, che era stato usato da Adam Smith nell'analisi della divisione del lavoro ed illustrato nella *Encyclopédie* di D'Alembert e Diderot.

Babbage ricorda i tre vantaggi della divisione del lavoro elencati da Adam Smith, ossia la maggior destrezza acquisita dal lavoratore specializzato, la riduzione dei tempi persi fra un'attività e l'altra, e l'invenzione di nuove macchine o il loro perfezionamento, che portano a un aumento della produttività; e aggiungeva <sup>(8)</sup>:

"Sebbene queste cause sieno di grande importanza, ed ognuna contribuisca non poco al buon resultamento, tuttavia penso che non si spiegherebbe se non imperfettamente la connessione che passa fra l'economia dei prodotti manifatturati e la divisione del lavoro, se si omettesse il principio seguente, il quale presentatosi al mio spirito dopo aver visitato io stesso un gran numero di Stabilimenti di manifatture, ho poi trovato espresso in una maniera distinta nell'Opera del Sig. Gioia [...]. Eccone dunque l'enunciazione. Dividendo l'opera in molte operazioni distinte, ciascuna delle quali richiede diversi gradi di destrezza e di forza, il maestro fabbricante può procurarsi *esattamente la quantità precisa* di destrezza e di forza necessarie per ciascuna operazione; mentre se l'opera intera dovesse essere eseguita da un solo operaio, questi dovrebbe avere nel tempo stesso destrezza bastante per eseguire le più delicate operazioni, e forza sufficiente per eseguire le più faticose".

<sup>(8)</sup> Tratto dalla traduzione italiana Babbage [4]: 137.

L'impostazione sistematica e quantitativa preconizzata da Babbage non ebbe molto successo. Nel corso dell'Ottocento, i problemi organizzativi degli impianti e delle infrastrutture industriali, soprattutto laddove erano affidati all'iniziativa privata, portarono effettivamente sia al consolidamento di una figura di ingegnere industriale (essenzialmente un ingegnere meccanico fino allo sviluppo dell'elettrificazione), sia all'emergere della professione di dirigente aziendale. Tuttavia, l'idea di creare un corpus teorico – tanto meno di un corpus quantitativo-matematico – riguardante questi aspetti non ebbe sviluppo.

In Gran Bretagna, la fabbricazione delle macchine a vapore e delle macchine utensili per i vari committenti nelle miniere, nelle industrie metallurgiche o tessili portò i tecnici-imprenditori inglesi più accorti a ripensare il processo produttivo e l'interazione fra gli operai e le macchine (Musson, [33]). Negli Stati Uniti, la costruzione e lo sfruttamento delle ferrovie portò alla creazione di primi esempi di tecniche contabili e manageriali per la gestione di problemi complessi di rete, come ha mostrato Alfred Chandler nel suo classico *La mano visibile* (Chandler, [10]). Le responsabilità organizzative dei dirigenti aziendali erano affidate, nei paesi anglosassoni, alla competenza individuale, frutto dell'esperienza in campo tecnico, imprenditoriale o contabile. Nel sistema di formazione degli ingegneri francesi nelle scuole tecniche, che servì di modello a tutti i paesi europei continentali, la formazione matematica serviva da garanzia di rigore intellettuale, e permetteva agli ingegneri di confrontarsi con tutti gli aspetti quantitativi della loro funzione, non soltanto dal punto di vista dell'attività tecnica, ma anche per quanto riguardava gli aspetti contabili ed economici. Ma, accanto ai numeri, fondamentale importanza era attribuita alla discrezionalità dell'ingegnere, capace di giudizi ponderati che andavano oltre gli aspetti quantificabili. I tentativi di applicazione della matematica agli aspetti decisionali e gestionali di tale attività professionale si scontrava quindi con un concetto di razionalità che non veniva considerato riducibile a regole matematiche.

I motivi erano quindi analoghi a quelli che, nel corso dell'Ottocento, impedirono lo sviluppo di una matematica sociale o di un'economia matematica. Come in questo ultimo caso, tuttavia, vi furono alcuni tentativi di autori isolati in Francia e in Germania, fedeli a una idea di

razionalità matematica legata spesso all'idea di pianificazione statale centrale dello sviluppo industriale. La rete ferroviaria, che si sovrapponeva alla rete dei canali e delle strade, rappresentava per gli ingegneri statali un contesto operativo radicalmente diverso da quelli precedenti, in quanto i problemi tecnici – riguardanti macchine, materiali e metodi costruttivi – dovevano essere risolti in collegamento con considerazioni economiche relative al rapporto costo-benefici (in un senso irriducibile ai profitti dell'azienda privata) e ai problemi di efficienza e controllo organizzativo globale collegati al tracciato o pianificazione della rete. Fra gli ingegneri di ponti e strade vi era consapevolezza della nuova sfida: ne sono un esempio le memorie che Charlemagne Courtois (1790-1863) pubblicò nel 1833, su alcune questioni di “economia politica relative all'impianto delle vie di comunicazione” e nel 1843, mentre era ingegnere capo responsabile del progetto della linea ferroviaria Parigi-Strasburgo diretta in Germania, sulle questioni che poneva la “scelta” della direzione di una nuova via di comunicazione (*choix* era la parola da lui usata) formulando il problema nel linguaggio matematico dell'ottimizzazione (Porter, [35]). Nella rivista «Annales des Ponts et Chaussées» furono pubblicate diverse memorie su questi temi, da parte di Claude Navier (1785-1855) sul confronto fra i vantaggi di diverse linee ferroviarie e di Jules Dupuit (1804-1866), sulla minimizzazione dei costi di manutenzione, sui pedaggi e sull'idea di utilità nei lavori pubblici. Un notevole contributo alla formulazione teorica in termini matematici di ottimizzazione dei problemi della pianificazione del trasporto e della produzione è dovuto all'ingegnere tedesco Wilhelm Launhardt (1832-1918), originario di Hannover, che ebbe diversi incarichi come ingegnere statale e fu poi nominato professore di costruzione di strade, ferrovie e ponti della Scuola politecnica di Hannover. A partire dal 1872 egli pubblicò diversi lavori sul problema del tracciato di strade e ferrovie, sulla determinazione delle tariffe delle ferrovie e sulla localizzazione degli stabilimenti industriali, e nel 1885 pubblicò un'ampia monografia sui fondamenti matematici dell'economia politica (Knobloch et al, [22]).

Eppure, come ha mostrato Theodor Porter nel suo saggio *Trust in numbers*, la tendenza generale fra gli ingegneri di ponti e strade

francesi era ostile all'uso dei calcoli numerici di ottimizzazione in questioni come la determinazione delle tariffe e pedaggi. Emblematico del blocco ottocentesco di fronte ai tentativi di sviluppare questa "matematica industriale" è uno scambio epistolare fra Léon Walras (1834-1910) – difensore strenuo ma incompreso dell'applicazione della matematica all'economia –, il matematico Julien Napoléon Haton de la Goupillière (1833-1927) e l'ingegnere-statistico Émile Cheysson (1836-1910), che fu il primo professore di economia industriale presso la École des Mines a Parigi. Cheysson scriveva a Walras:

«Ho tentato da parte mia di trattare tramite procedure grafiche un certo numero di problemi industriali, quali la ricerca della tariffa vantaggiosa di remunerazione del prodotto, della quantità della mano d'opera. Ho avuto cura in tali ricerche di evitare le astrazioni e speculazioni puramente matematiche per mettere in opera la statistica non più allo stato passivo ma allo stato attivo, ossia in modo che, partendo dai dati sperimentali, possano essere determinate delle leggi, l'andamento di certi fenomeni, e, con l'aiuto delle intersezioni o delle inflessioni delle curve figurative – prolungate, se necessario, per interpolazione oltre la loro zona sperimentale – offra la soluzione ai problemi che si pongono giorno per giorno all'industriale»

Ma spiegava a Haton de la Goupillière <sup>(9)</sup>:

«In principio, credo poco al successo dei tentativi che hanno per oggetto di racchiudere in formule algebriche i fenomeni dove è in gioco la libertà umana. Le equazioni trascurano per forza qualche dato che falsa le conclusioni mentre nel contempo donano loro una pericolosa apparenza di rigore. Quindi per me si tratta più di una ginnastica ingegnosa volta a esercitare le qualità dello spirito che un filo conduttore nel labirinto dei fatti sociali dove le forze morali svolgono il ruolo principale e sfuggono al calcolo. Vi è qui una dinamica speciale le cui leggi hanno a che fare con l'esperienza e non con le matematiche.

Esse possono trovare utilmente impiego in questioni particolari in cui solo la materia è in gioco come nelle banche o nella moneta.»

<sup>(9)</sup> Lettera di Cheysson a Walras, 19/07/1885, n. 666 e lettera di Cheysson a Haton de la Goupillière, 10/07/1885; n. 665, allegato, in *Correspondence of Léon Walras and related papers* (Jaffé, W., ed.), 1965, 3 vols., Amsterdam, North-Holland Publishing Company.

## 6. – Matematica, programmazione e sviluppo industriale

Fra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento, da parte di autori diversi in contesti culturali diversi, si assistette all'*identificazione esplicita del problema di "disporre" e gestire un intero sistema, considerato globalmente e non come aggregato di parti*, ossia dell'analisi delle attività, come un compito dell'ingegnere e del dirigente aziendale che doveva essere pensato e non lasciato alle soluzioni caso per caso introdotte nella prassi effettiva, in fabbrica oppure nelle sedi decisionali. È indubbio che in quel periodo i compiti organizzativi di ingegneri, dirigenti aziendali o imprenditori si complicarono sempre di più, e si estesero a nuovi contesti tecnologici. Nello sviluppo di una rete ferroviaria nazionale o dell'elettrificazione, ad esempio, si ponevano già chiaramente i problemi di progettazione e di gestione di una realtà tecnologica o "artificiale" con caratteristiche di "sistema", e ancor di più con lo sviluppo del telefono commerciale e con la diffusione della produzione di massa. La Seconda Guerra Mondiale pose nuovi problemi: la rinnovata esigenza di flessibilità, ad esempio nella fabbricazione degli aerei; i movimenti di navi di rifornimento; i problemi logistici; l'implementazione del radar per la sicurezza del territorio; il coordinamento di uomini, aerei e rifornimenti nei combattimenti aerei.

Insieme all'identificazione del problema della pianificazione ed esercizio di un'attività ampia e complessa emerse anche il convincimento che fosse necessario forgiare un approccio "scientifico" a tale problema. L'aggettivo "scientifico" era inteso da autori come Frederick Taylor o Henri Fayol in senso generico come un'impostazione sistematica, eventualmente basata sulla misura e la raccolta di dati empirici in forma numerica, relativi a paghe, tempi di lavorazione e conteggio di operazioni. Nondimeno la ricerca di un approccio scientifico contribuì ad aprire la strada ai tentativi di applicare la matematica in questo ambito, all'insegna di un'idea di razionalità delle decisioni e dell'organizzazione di stampo matematico. Tali ricerche contrassegnarono l'inizio della matematica industriale del Novecento.

Nei Bell Telephone Laboratories – l'istituzione di ricerca industriale fondata nel 1925 dalla fusione dei rispettivi dipartimenti di

ingegneria dell'American Telegraph and Telephone Company (AT&T) e della Western Electric, l'impresa manifatturiera collegata ai servizi dell' AT&T – si sviluppò una precoce consapevolezza degli aspetti economici e organizzativi del successo aziendale, inscindibili dagli aspetti tecnici e industriali della rete telefonica commerciale, ossia di questioni come i costi, la misurazione di rendimento e qualità, le previsioni di crescita della domanda, il traffico telefonico e la network analysis. Molte di queste ricerche apparvero sul periodico tecnico «Bell System Technical Journal» e diedero luogo a monografie molto influenti, come *Economic control of quality of manufactured products* (1931) del fisico Walter A. Shewhart (1891-1967), *Probability and its engineering uses* (1928) di Thornton C. Fry (1892-1991), oppure *Network analysis and feedback amplifier design* (1945) di Hendrick W. Bode (1905-1982)<sup>(10)</sup>. Bode, ad esempio, offriva un'esposizione d'insieme di questo nuovo approccio, emerso nell'ambito dell'ingegneria delle comunicazioni, ma che avrebbe modificato profondamente il pensiero ingegneristico del Novecento. Infatti, nella progettazione di dispositivi tecnici per la telefonia, la visione classica della “macchina” veniva trasformata in due diverse direzioni, entrambe tendenti a un allontanamento dall'oggetto reale e dalla fisica del suo funzionamento. Da una parte, il singolo dispositivo (ad esempio, l'amplificatore) disponeva, accanto alla sua descrizione materiale, una descrizione matematica in termini di schemi ingresso-uscita e di “funzioni di trasferimento” basate sulla trasformata di Laplace, che forniva criteri di stabilità matematico-geometrici, necessari, nella progettazione tecnica, a governare “i disturbi” (in questo caso, distorsione e rumore) in relazione agli scopi desiderati. D'altra parte, il funzionamento del

<sup>(10)</sup> Il lavoro degli studiosi della Bell non è stato studiato in modo organico dagli storici della matematica. In generale questo tipo di applicazioni della matematica, seppur di antica tradizione, è ancor più ignorato delle applicazioni tecniche (a partire dall'ingegneria meccanica) nei tentativi di ricostruzione globale della storia culturale della disciplina. Segnaliamo la notevole eccezione dell'opera diretta da Grattan Guinness, [17] (due capitoli su questi temi sono citati nella bibliografia [5] e [36]). Della Bell si sono occupati studiosi di storia della tecnologia o dell'economia industriale: sugli studiosi citati si vedano, rispettivamente, Bayart, Crépel, [5], Girlich, Chikán, [16] e Bennett, [6], e si veda anche Dawson et al, [14].

dispositivo era esaminato in un contesto di rete (“network”), ossia inserito in una configurazione di sistema volto a un fine, al quale contribuivano i vari elementi, fra cui alcuni in funzione di regolazione e controllo; tali sistemi erano illustrati graficamente tramite diagrammi a blocchi che individuavano rapporti funzionali e anelli di retroazione.

Anche in Germania furono pubblicati lavori come *Applicazioni della statistica ai problemi della produzione di massa* (1927), di cui erano autori Richard Becker, Hubert Plaut e Iris Runge (1888-1966, figlia di Carl Runge, che nel 1904 aveva occupato la cattedra di matematica applicata a Göttingen, la prima creata in Germania). Un'altra donna, Hilda Geiringer (1893-1973) – allieva e poi moglie di Richard von Mises (1883-1953) –, si occupò invece di problemi di teoria delle code analoghi a quelli studiati alla Bell, nel contesto del suo lavoro presso la Poste tedesche.

Tuttavia, negli anni Trenta il principale contributo allo sviluppo dello studio matematico dei problemi di pianificazione e gestione in ambito industriale fu sviluppato in Unione Sovietica, seguendo un approccio di ottimizzazione, ma adoperando però strumenti algebrici che avrebbero poi formato il nucleo di un nuovo settore della matematica applicata, la programmazione lineare. Può risultare sorprendente che questo sviluppo si sia avuto in un paese che iniziava appena a costruire la propria infrastruttura industriale, e che era enormemente arretrato da questo punto di vista rispetto agli Stati Uniti, la Gran Bretagna o la Germania. Si trattava però di un paese con una ricca tradizione matematica, che viveva una grande stagione culturale e scientifica, prima che lo stalinismo agisse implacabilmente per distruggerla. Inoltre, la scelta di pianificazione centrale dell'economia induceva in modo naturale l'interesse per un criterio di razionalizzazione di stampo matematico. I paradossi dell'Unione Sovietica all'indomani della rivoluzione d'ottobre si riflettono nell'accoglienza riservata al taylorismo: in parte negativa, poiché riproponeva quella idea di efficienza legata alla divisione del lavoro che era alla base della critica comunista al capitalismo industriale, ma in parte positiva, perché sosteneva la possibilità di un approccio scientifico agli urgenti problemi di organizzazione industriale del paese.

Proprio nel corso di un importante convegno dedicato all'organizza-



zione del lavoro e della produzione tenutosi nel 1921 Bogdanov affermò infatti l'esigenza di sviluppare la nuova scienza della *tektologiya* o scienza dell'organizzazione. E a partire dalla fine degli anni Venti ebbero inizio, con il lavoro di A. N. Tolstoj sulla pianificazione del traffico ferroviario, le ricerche di alcuni studiosi russi su problemi di organizzazione tecnica e industriale imperniata sull'idea di ottimizzazione: in questo caso, era considerato un criterio razionale la minimizzazione della lunghezza totale dei percorsi della rete (Brentjes, [9]). È importante ricordare che, a partire dal 1929, Stalin decise di avvalersi dal lavoro forzato per accelerare l'industrializzazione, e che, a partire dalle grandi ondate di arresti degli anni 1937 e 1938, il Gulag (la rete di campi di lavoro disseminate in tutta l'Unione sovietica, dalle isole del Mar Bianco alla periferia di Leningrado) diventò un sistema di lavoro coatto di massa che svolse un ruolo fondamentale nell'economia sovietica (taglio del legname, industria estrattiva, edilizia, progettazione di aeroplani e artiglieria) fino alla morte di Stalin nel 1953<sup>(11)</sup>.

Nel 1939 vide la luce una fondamentale monografia di Leonid Kantorovich (1912-1986), professore dal 1934 dell'università statale di Leningrado ed esperto di analisi funzionale, intitolata *Sull'organizzazione e la pianificazione matematica della produzione*, che divenne nota in Occidente solo con la pubblicazione sulla rivista americana «Management Science» nel 1960. In effetti, il primo incarico di questo genere avuto da Kantorovich, riguardava il problema dello smistamento delle materie prime fra il macchinario a disposizione dell'azienda pubblica di lavorazione del legname di Leningrado, in modo da massimizzare la produttività sotto certi vincoli. Anni dopo, egli si occupò del taglio delle lamine di acciaio nell'impianto di fabbricazione di vetture della città. Ecco come ricordava la sua esperienza (Kantorovich, [21]):

“Matematicamente, si trattava di un problema di massimizzazione di una funzione lineare su un politopo convesso. La raccomandazione generale del calcolo ben nota, ossia quella di confrontare i valori della funzione nei vertici del

<sup>(11)</sup> GULAG è un acronimo dal russo Amministrazione generale dei campi. Secondo i dati della polizia segreta sovietica, al 1° gennaio 1953 vi erano quasi due milioni e mezzo di persone internate nei campi.

politopo, perdeva qui la sua forza poiché il numero dei vertici era enorme persino in problemi molto semplici. Ma questo problema accidentale mostrò di essere in realtà tipico. Trovai molti problemi economici con la stessa forma matematica: la distribuzione del lavoro nelle macchine, l'uso migliore dell'area di semina, il taglio razionale del materiale, l'uso di risorse complesse, la distribuzione dei flussi nel trasporto. Ciò rappresentava una ragione sufficiente per cercare un metodo di soluzione del problema efficiente. Il metodo che chiamai 'metodo dei moltiplicatori risolvanti' fu trovato sotto l'influsso delle idee dell'analisi funzionale".

Kantorovich, un giovane e brillante matematico formatosi fra studiosi di prim'ordine, si dimostrò un innovatore straordinariamente creativo. In primo luogo, egli concepì da un punto di vista generale il problema dell'«allocazione» (ossia la assegnazione o ripartizione) ottima delle risorse limitate, sottostante a molti esempi pratici relativi alla produzione industriale, alla distribuzione e alle reti di trasporto, e ne rilevò anche le implicazioni nei fenomeni economici generali dell'economia pianificata. In secondo luogo, egli formulò tale problema in termini matematici moderni, esprimendo in termini algebrici sia l'obiettivo (in termini di massimo e minimo) sia i vincoli (tramite equazioni e disequazioni) del singolo problema e lavorando a teoremi generali sull'esistenza di soluzioni. Egli coinvolse nelle prime discussioni su questo nuovo ambito di ricerca matematici, ingegneri ed economisti della sua università e, nel seguito, sviluppò sistematicamente le sue idee in collaborazione con un gruppo di allievi. Negli anni Quaranta, tuttavia, anche le tecniche matematiche dell'economia caddero in disgrazia, come lo stesso Kantorovich ricordava nel 1960 nel corso di un convegno sull'argomento a Mosca<sup>(12)</sup>:

«Il compagno Mstislavskij parlava della necessità di applicare i metodi matematici in economia. Tuttavia, non sempre egli ha detto così; non molto tempo fa sosteneva altre cose. E il suo amico e coautore Yastremskij in un convegno si rivolse a me dicendo: "Stai parlando di un ottimo. Ma lo sai chi

<sup>(12)</sup> Citato nell'introduzione di Leifman, [25]. Nel seguito Kantorovich diventò direttore del Laboratorio di ricerca dell'Istituto di Controllo dell'Economia nazionale di Mosca, e morì pochi anni prima della fine dell'Unione Sovietica.

parla di ottimo? Il fascista Pareto parla di ottimo!” Sapete come sonavano queste parole nel 1943. Ciononostante, io non dissi – per non essere come il fascista Pareto – sforziamoci di ottenere il massimo dei costi e il minimo della produzione».

## 7. – La ricerca operativa

Il lavoro di Kantorovich sulla pianificazione e l'organizzazione matematica si colloca nella storia della matematica accanto ad altri sviluppi di applicazione della matematica risalenti allo stesso periodo, come le ricerche di Vito Volterra (1860-1940) in Italia e di Alfred Lotka (1880-1949) negli Stati Uniti sulla biologia matematica oppure quelle di Abraham Wald (1902-1950) sull'economia matematica o di John von Neumann (1903-1957) sui giochi di società. Essi mostrano che, nel periodo fra le due guerre mondiali, le motivazioni filosofiche che avevano ostacolato l'avventurarsi con strumenti matematici al di fuori del mondo inanimato – allo scopo di studiare gli esseri viventi oppure il comportamento umano – non avevano più la stessa forza. A questo punto, furono messi in gioco strumenti matematici nuovi o poco esplorati, come le disequazioni lineari e altri strumenti algebrici oppure le equazioni differenziali non lineari.

Ciò può aiutare a capire la circostanza sorprendente che le ricerche di Kantorovich e altri nell'Unione Sovietica sotto lo stalinismo abbiano avuto un corrispettivo in quelle condotte in modo completamente indipendente da alcuni scienziati negli Stati Uniti, motivati anche in questo caso da problemi industriali di un paese con economia di mercato ma in guerra, e quindi con un maggiore intervento statale centrale, oppure da problemi organizzativi e logistici di natura militare. Su tutti i fronti della Seconda Guerra Mondiale, infatti, matematici, fisici e ingegneri erano stati coinvolti nella conduzione delle attività belliche da parte delle autorità militari, fornendo consigli e studi su armi e dispositivi ma anche sull'addestramento dei piloti o sugli aspetti organizzativi delle operazioni belliche. In Gran Bretagna la mobilitazione degli scienziati prese il via proprio con un problema di indole “operativa”, ossia l'implementazione di un nuovo ritrovato tecnico, il radar, a difesa del territorio nazionale dall'attacco aereo

nemico. L'efficienza globale della difesa non dipendeva soltanto dall'efficienza dei dispositivi tecnici collocati sulle coste britanniche, ma anche da quella degli operatori umani coinvolti e, più strutturalmente, da quella della rete di comunicazioni fra le varie postazioni radar, i vari comandi centrali delle forze militari (quali il comando delle coste e il comando antiaereo), i gruppi aerei che dovevano decollare tempestivamente in presenza di aerei nemici e le batterie antiaeree. Nei gruppi di *operational research* britannici si fece strada l'idea che "il pensiero numerico sulle questioni operative" (sono parole del fisico Patrick Blackett (1887-1974) responsabile in guerra del Antiaircraft Command Research Group britannico) fosse garanzia della razionalità nelle decisioni militari, ossia dell'ottenimento del "massimo effetto militare".

Presso lo Headquarters Statistical Control dell'Aeronautica militare, a Washington, lavorava dal 1941 George Dantzig (1914-2005), a capo di un'unità chiamata Combat Analysis Branch. Dopo gli studi di matematica presso le università di Maryland e Michigan, Dantzig aveva lavorato come statistico presso un'agenzia federale, il Bureau of Labor Statistics fra il 1937 e il 1939. Era poi ritornato all'università per preparare una tesi di dottorato in statistica sotto la supervisione di Jerzy Neyman (1894-1981), a Berkeley, ma l'arrivo della guerra interruppe di nuovo i suoi studi. Oltre alla raccolta sistematica di dati su voli aerei e bombardamenti, egli collaborò con altre divisioni dell'Aeronautica nella pianificazione dei "programmi". La quantità e complessità dei dati logistici (beni e servizi di ogni tipo, a centinaia di migliaia, e migliaia di specializzazioni professionali operative) era trattata con il solo ausilio degli elaboratori analogici e delle macchine da ufficio a schede perforate fabbricate dall'IBM. Nel 1944 ricevette un'onorificenza del Ministero della Difesa per il suo lavoro (War Department Exceptional Civilian Service Medal).

Dopo la guerra Dantzig discusse la sua tesi di dottorato a Berkeley, e ritornò a Washington a lavorare alle dipendenze del Ministero della Difesa presso la Divisione di Ricerca sulla Pianificazione dell'Ufficio economico dell'Aeronautica militare sul problema della "meccanizzazione del processo di pianificazione", ossia il problema di trovare il modo per accelerare il calcolo di un "programma cadenzato nel tempo

di dispiegamento, addestramento e rifornimento logistico” (Dantzig, [13]: 20), anche con l’aiuto dei nuovi elaboratori elettronici. Andando oltre la pianificazione militare, egli considerò il problema della programmazione di una qualsiasi organizzazione, basato su un’idea di programma centrata sugli obiettivi. Inoltre, egli stabilì il collegamento fra questo problema e i problemi di pianificazione economica, così com’erano stati formulati dall’economista di origine russa Wassily Leontief (1906-1999), professore presso l’università di Harvard, nel suo famoso modello interindustriale input-output per l’economia americana. Infine, Dantzig compiendo un ulteriore passo di astrazione, formulò l’idea di programmazione in termini matematici assiomatici, introducendo i concetti astratti di «attività» e di «bene», e arrivando quindi al problema matematico astratto della massimizzazione di una forma lineare (la funzione obiettivo) soggetta a condizioni espresse tramite equazioni e disequazioni lineari. Nell’estate del 1947 mise a punto il metodo per ottenere una soluzione del problema (una soluzione ammissibile massima) che divenne noto come «metodo del simplesso», un metodo costruttivo, ossia computabile, suscettibile di essere applicato nella pratica con l’aiuto del calcolatore. Il suo lavoro fu riconosciuto nel seguito come matematicamente equivalente al lavoro di Kantorovich: il metodo del simplesso fu il primo passo di un settore della matematica applicata noto come programmazione lineare.

Queste ed altre tecniche di ottimizzazione algebrica e combinatoria sviluppate nel seguito negli Stati Uniti e in altri paesi, come l’analisi delle reti di flusso, fecero diventare la ricerca operativa un vero e proprio settore della matematica applicata. Mentre in Unione Sovietica questi metodi diventavano sospetti con futili motivazioni legate ad altre campagne di ostilità tipiche del periodo stalinista nei confronti delle teorie scientifiche “borghesi”, in Occidente, soprattutto nella Gran Bretagna laburista – in vista della gestione delle aziende nazionalizzate – e negli Stati Uniti – soprattutto nella gestione dei grandi progetti come quelli della difesa, aerospaziali e civili– essi sembrarono diventare la nuova panacea per risolvere gli intricati problemi organizzativi dell’industrializzazione. Sembrava allora a portata di mano l’obiettivo del “controllo stretto di un’organizzazione”, secondo l’espressione di sapore militare di Dantzig, oppure l’obiettivo

di “progettare” un modo razionale di prendere le decisioni. Il fallimento di alcuni progetti emblematici nel settore aerospaziale, ma anche il confronto con la realtà industriale e gli insuccessi commerciali oppure la difficoltà di governo dei sistemi finanziari, hanno ridimensionato l’“ottimismo matematico” degli anni Cinquanta e Sessanta, aprendo una breve “crisi” della ricerca operativa, che si è risolta essenzialmente continuando il lavoro con minori ambizioni teoriche anche se con le stesse mire di generalità per quanto riguarda l’ambito di applicazione. Questa vicenda ricorda il caso dell’ambizione di rinnovare l’intera impresa scientifica da parte della cibernetica o della teoria dei sistemi. L’eco di quell’ottimismo è ancora estremamente presente nella nostra cultura attraverso la convinzione – asserita alle volte in modo acritico – che la razionalità applicata agli affari umani possa e debba essere esclusivamente una razionalità matematica.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ACKOFF R. L., *Games, decisions, and organization*, General systems, 4 (1959), 145-150.
- [2] ACKOFF R. L., *The future of Operational Research is past*, Journal of the Operational Research Society, 30 (1979), 93-104.
- [3] APPLEBAUM A., *Gulag. Storia dei campi di concentramento sovietici*, Milano, Mondadori, 2004.
- [4] BABBAGE CH., *Sulla economia delle macchine e delle manifatture*, Firenze, Guglielmo Piatti–Luigi Casini–Gabinetto scientifico letterario di Vissieux, 1834.
- [5] BAYART D. - CRÉPEL P., *Statistical control of manufacture*, in [17] Grattan Guinness, vol. II, 1386-1391.
- [6] BENNETT S., *A history of control engineering, 1800-1930 – 1930-1950*, London, Peter Peregrinus, 1979, 1993.
- [7] VON BERTALANFFY L., *Teoria generale dei sistemi. Fondamenti, sviluppo, applicazioni*, Milano, Mondadori, 2004 (*General system theory*, New York, George Braziller, 1967).
- [8] BOYSSOU D., *La ‘crise de la recherche opérationnelle’, 25 ans après*, Mathématiques et Sciences Humaines (2003), 7-27.
- [9] BRENTJES S., *Zur Herausbildung der lineare Optimierung*, in LASSMANN, W. - SCHILAR, H. (a cura di), *Ökonomie und Optimierung*, Berlin, Akademie Verlag, 1985, 298-330.

- [10] CHANDLER A. D., *La mano visibile: la rivoluzione manageriale nell'economia americana*, Milano, Franco Angeli (*The visible hand: the managerial revolution in American business*, Cambridge (Mass.)-London, Harvard University Press), 1992<sup>2</sup>.
- [11] DANTZIG G. B., *The programming of interdependent activities: mathematical model*, in [23] Koopmans et al., 19-32.
- [12] DANTZIG G. B. - VEINOTT A. F. (a cura di), *Mathematics of the decision sciences*, Providence, American Mathematical Society, 1968.
- [13] DANTZIG G. B., *Linear programming. The story about how it began*, in LENSTRA J.K. - RINNOOY KAN A.H.G. - SCHRIJVER, A. (a cura di), *History of mathematical programming. A collection of personal reminiscences*, Amsterdam, CWI/North Holland, 1991, 19-31.
- [14] DAWSON C. S. - MCCALLUM CH. J. - MURPHY R.B. - WOLMAN E., *Operations research at Bell Laboratories through the 1970s: Part I*, *Operations Research*, 48 (2000), 205-215.
- [15] FORD L. R. - FULKERSON D. R., *Flows in networks*, Princeton (N.J.), Princeton University Press, 1962.
- [16] GIRLICH H.-J. - CHIKÁN A. *The origins of dynamic inventory modelling under uncertainty (the men, their work and connection with the Stanford Studies)*, *International Journal of Production Economics*, 71 (2001), 351-363.
- [17] GRATTAN GUINNESS I. (a cura di), *Companion Encyclopaedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences*, London, Routledge, 1994.
- [18] ISRAEL G., *Oltre il mondo inanimato: la storia travagliata della matematizzazione dei fenomeni biologici e sociali*, *Bollettino dell'Unione Matematica Italiana*, 7-B, (8) (2004), 275-304.
- [19] ISRAEL G., *The Science of Complexity: Epistemological Problems and Perspectives*, *Science in Context*, 18 (3) (2005), 1-31.
- [20] ISRAEL G. - MILLÁN GASCA A., *The world as a mathematical game. John von Neumann and 20<sup>th</sup> century science*, Basel, Birkhäuser (versione italiana Torino, Bollati Boringhieri) 2009.
- [21] KANTOROVICH L. V., *Leonid Vitaliyevich Kantorovich – Autobiography*, in *Nobel Lectures, Economics 1969-1980*, a cura di A. Lindbeck, Singapore, World Scientific Publishing Co., 1992.
- [22] KNOBLOCH E. - NIEHANS J. - HOFMANN A. - TEOCHARIS R. D., *Wilhelm Launhardt's "Mathematische Begründung der Volkswirtschaftslehre. Vademecum zu einem Klassiker der Theorie der Raumwirtschaft*, Düsseldorf, Verlag Wirtschaft und Finanzen GmbH, 1994.
- [23] KOOPMANS T. C. ET AL. (a cura di), *Activity analysis of production and allocation. Proceedings of a Conference*, New York, John Wiley & Sons, Cowles Foundation Monographs, vol. 8 (8<sup>o</sup> ed., New Haven/London, Yale University Press. 1976), 1951.
- [24] KOYRÉ A., *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione. Tecniche*,

- strumenti e filosofia dal mondo classico alla rivoluzione scientifica*, Torino, Einaudi, 2000.
- [25] LEIFMAN L. J. (a cura di), *Functional analysis, optimization, and mathematical economics: A collection of papers dedicated to the memory of Leonid Vital'evich Kantorovich*, New York/Oxford, Oxford University Press, 1990.
- [26] LUCERTINI M. - MILLÁN GASCA A. - NICOLÒ F. (a cura di), *Technological concepts and mathematical methods in the evolution of modern engineering systems. Controlling, managing, organizing*, Basel, Birkhäuser, 2004.
- [27] LUCERTINI M. - TELMON D., *Organizzative, tecnologie*, Enciclopedia Italiana, Appendice V (1979-1992), *ad vocem*, 1991-1995.
- [28] LUNDGREEN P., *Engineering Education in Europe and the U. S.A., 1750-1930: The rise to dominance of school culture and the engineering professions*, *Annals of science*, 47 (1990), 33-75.
- [29] MILLÁN GASCA A., *Fabbriche, sistemi, organizzazioni. Storia dell'ingegneria industriale*, Milano, Springer, 2006.
- [30] MILLÁN GASCA A., *Early approaches to the management of complexity in engineering systems*, in CERRAI, P. - FREGUGLIA, P. - PELLEGRINI, C. (a cura di), *Complexity, determinism, holism*, New York, Kluwer (2002), 349-357.
- [31] MILLER D.M. - SCHMIDT J.W., *Industrial engineering and operations research*, New York, John Wiley & Sons, 1984.
- [32] MIROWSKI P., *Economics meets operations research in mid-century*, *Social Studies of Science*, 29 (1999), 685-718.
- [33] MUSSON A. E. - ROBINSON E., *Scienza e tecnologia nella rivoluzione industriale*, Bologna, Il Mulino, 1974.
- [34] PICON A., *L'invention de l'ingénieur moderne. L'Ecole des Ponts et Chaussées 1747-1851*, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1992.
- [35] PORTER T. M., *Trust in numbers*, Princeton (N. J.), Princeton University Press, 1995.
- [36] RIDER R., *Operational research*, in [17] Grattan Guinness, vol. I, 837-842.
- [37] TATON R., *L'œuvre scientifique de Monge*, Paris, Presses universitaires de France, 1951.
- [38] URMANTSEV Y., *Tektology and General System Theory: A comparative analysis*, in BIGGART J. - DUDLEY P. - KING F. (a cura di), *Alexander Bogdanov and the origins of systems thinking in Russia*, Aldershot, Ashgate, (1998), 237-253.

Ana Millán Gasca, Dip. di Matematica  
 Università degli studi Roma Tre  
 e-mail: ana.millan@uniroma3.it