

La Ricerca Operativa e l'ingegneria: passato, presente e futuro

1. *La nascita della Ricerca Operativa*

La denominazione *Ricerca Operativa* (*Operational* o *Operations Research*) fu utilizzata, per la prima volta, per caratterizzare e connotare delle attività di ricerca, immediatamente applicate alla soluzione di problemi militari, sviluppate in connessione agli avvenimenti determinati dalla *Seconda Guerra Mondiale*.

Immediatamente prima e durante il conflitto, erano sorti, dapprima nel *Regno Unito* e, successivamente, negli *USA* ed in altri *Paesi Alleati*, gruppi di ricerca orientati alla soluzione di importanti problemi di ordine strategico e tattico collegati alla difesa nazionale.

Nel 1935, per prepararsi a rispondere ad un attacco, ritenuto sempre più probabile, della Germania nazista, fu avviato, nel *Regno Unito*, un programma di esperimenti volto a mettere a punto un'apparecchiatura in grado di localizzare aerei in volo, utilizzando la riflessione, da essi prodotta, di onde radio emesse da stazioni a terra. Si trattava, ovviamente, del *radar* (acrostico di *radio detection and ranging*)¹.

Tra il 1935 ed il 1937, nella *Bawdsey Research Station*, sulla costa orientale dell'Inghilterra presso *Felixstowe*, si lavorò intensamente per provare le effettive potenzialità tecniche di questo tipo di apparecchiatura (si passò da un solo radar installato nel 1937 a cinque

stazioni operanti nel 1938 lungo la costa orientale dell'Inghilterra), la quale mostrò di essere eccezionalmente rispondente agli scopi prefigurati, anche se, non risultò semplice, con l'aumentare del numero delle apparecchiature operanti, rendere coerenti tra loro le informazioni che esse producevano.

Si ritenne, poi, di grande importanza, nel meccanismo della difesa antiaerea, che ad una fase efficiente di *localizzazione* dei velivoli nemici ne seguissero altre due, altrettanto efficienti, di *intercettazione* e di *rientro a terra* dei velivoli inglesi. I problemi da affrontare erano, dunque, tre: 1) correlare e coordinare le informazioni prodotte dalle apparecchiature radar; 2) ottimizzare la distribuzione delle stesse apparecchiature sul territorio (per migliorarne la copertura difensiva rispetto agli attacchi nemici); 3) distribuire gli aerei inglesi (e, dunque, gli aeroporti militari) sul territorio in maniera opportuna per rendere efficienti anche la fase di intercettazione e quella, successiva, di rientro.

Con gruppi di lavoro ed organizzazioni, per motivi di sicurezza, separate fu avviato, su proposta di *Henry T. Tizard*², con quei tre obiettivi, a partire dagli ultimi mesi del 1936 e fino ai primi mesi del 1937, il cosiddetto *Biggin Hill Experiment* (dal nome di un aeroporto militare localizzato immediata-

mente a Sud di Londra). Nel corso del 1937 i gruppi di lavoro vennero unificati dando luogo ad una tanto stretta quanto inconsueta collaborazione tra scienziati, ufficiali, tecnici e personale della *Royal Air Force*.

A.P. Rowe³, Soprintendente della *Bawdsey Research Station*, nel descrivere, nel 1938, il tipo di attività sviluppate nel corso del progetto, nel tentativo di caratterizzarne i due aspetti impliciti, di *ricerca* (per la evidente novità dei contenuti sviluppati rispetto allo stato dell'arte corrente) e di *applicazione pratica immediata* dei risultati ottenuti, utilizzò, in un rapporto diretto alla *Stato Maggiore*, l'espressione *Operational Research* [*Research into (military) Operations*]; disse, in altre parole, che si era fatta della *Ricerca Operativa* e propose, con *Robert Watson-Watt*, di denominare *Operational Research Section* il gruppo di lavoro, che era stato coinvolto nell'esperimento.

Nel 1939, *Patrick M. S. Blackett*⁴, fisico, professore presso l'*Università di Manchester*, venne chiamato a costituire un gruppo di ricerca, composto da scienziati e da esperti militari, che fu impegnato nella lotta contro i sommergibili tedeschi. Il primo compito assegnato al gruppo di *Blackett* fu la *regolazione ottima* delle spolette a tempo delle bombe antisommergibile⁵. Stime dell'epoca affermano che l'implementazione dei risultati scientifici prodotti consentì di raddoppiare la percentuale di sommergibili nemici colpiti.

Il successo ottenuto da questo gruppo, passato alla storia, proprio per l'ete-

rogeneità dei suoi componenti, come il *Blackett Circus*, produsse il risultato pratico di moltiplicare, nel *Regno Unito* e negli altri *Paesi Alleati*, gruppi di ricerca simili. Nell'ambito delle forze armate, principalmente inglesi ed americane (negli *USA* l'approccio fu introdotto a partire dal 1943, la denominazione che gli fu attribuita fu quella di *Operations Research*⁶), si svilupparono settori per la ricerca relativa alla guerra antisommergibile, al dimensionamento dei convogli navali, alla scelta dei bersagli nelle incursioni aeree, oltre, ovviamente, alle tecniche, di cui si è detto, di avvistamento ed intercettazione degli aerei.

Questi gruppi avevano, di norma, *componenti con formazioni culturali ed esperienze di lavoro molto eterogenee*. L'efficienza che essi dimostravano appariva fortemente legata proprio al fatto che le diverse competenze coinvolte garantivano la possibilità di esaminare in modo *interdisciplinare ed integrato*, e, dunque, compiutamente i diversi aspetti dei problemi affrontati.

Si stima che, nel corso della seconda guerra mondiale, furono complessivamente coinvolti in attività di *Ricerca Operativa*, nel Regno Unito, in Canada ed in USA, almeno 700 *scientists*. *C. H. Waddington* sintetizza i principali obiettivi della *Ricerca Operativa* nel corso della Seconda Guerra Mondiale nella *previsione degli effetti di nuove armi e di nuove tattiche*⁷.

Il termine del conflitto determinò una *riconversione* dell'approccio utilizzato per affrontare problemi bellici, orientan-

dolo alla soluzione di problemi di tipo civile. Si giunse, infatti, rapidamente, alla conclusione che molti dei problemi affrontati e risolti in ambito bellico avevano dei *problemi omologhi* nel mondo civile, in applicazioni di tipo industriale e territoriale.

La *localizzazione* dei radar e degli aeroporti in grado di ottimizzare la *copertura* del territorio nei confronti di attacchi aerei nemici è un problema che somiglia molto, ad esempio, a quello della localizzazione dei depositi di prodotti finiti di un'industria allo scopo di rendere efficiente il meccanismo della distribuzione, ma anche a quello della localizzazione sul territorio di servizi di pubblica utilità (caserme dei pompieri, ospedali, uffici postali, ...) allo scopo di ottimizzare le prestazioni del servizio offerto alla popolazione.

L'individuazione del *mixing* di bombe con cui effettuare il caricamento di un bombardiere (o di uno stormo di bombardieri), allo scopo di ottimizzare un *raid* aereo volto a colpire obiettivi sparsi sul territorio nemico, è un problema che ha delle analogie, ad esempio, con quello di un autotrasportatore che deve caricare un autocarro (o una flotta di autocarri) con un insieme di colli da distribuire, nel corso del viaggio, tra diversi clienti sparsi sul territorio. Ed è abbastanza intuitivo che molti altri esempi di questo genere potrebbero essere indicati.

Nel 1948 fu fondata, negli USA, la *RAND* (*Research and Development*), un istituto di ricerca creato dalla *U.S. Air Force* e successivamente sovvenzionata

dalla *Ford Foundation*. I settori in cui la *RAND* sviluppò, principalmente, la propria ricerca furono: le attività e le gestioni delle aree portuali (particolare attenzione fu dedicata ai problemi di *layout* portuale), la programmazione dei rifornimenti e delle operazioni di manutenzione degli impianti, la modellizzazione di aspetti economici relativi ad altri Paesi e, ancora, in coerenza con le esperienze passate, i problemi bellici (legati, questa volta, alla *guerra in Corea*⁸).

Nei settori più propriamente civili, la Ricerca Operativa riprese tecniche in uso nel settore industriale, migliorandole ed arricchendole con l'uso di strumenti matematici e di conoscenze organizzative: si occupò di standardizzazione della produzione, di problemi connessi con la pianificazione e la programmazione industriale. Proprio per questo la Ricerca Operativa ha assunto una connotazione tale da giustificare sempre più l'altra sua denominazione, oggi corrente, di *Management Science*.

Nel *Regno Unito* la riconversione avvenne prevalentemente nel settore pubblico, con studi relativi ai trasporti ferroviari, stradali ed urbani, dando origine, a partire dagli *anni '50*, ad uno sviluppo di conoscenze e modelli di tipo territoriale ed urbanistico, divenute, col tempo, tipiche, appunto, della ricerca inglese⁹.

In Italia le tecniche di Ricerca Operativa giunsero con una decina di anni di ritardo, fatto, peraltro, naturale tenendo conto dell'estraneità del nostro Paese all'ambiente in cui l'approccio della

Ricerca Operativa era sorto ed aveva iniziato a svilupparsi. Il 20 aprile del 1961¹⁰, un gruppo di ricercatori, tecnici e dirigenti d'azienda fondò l'AIRO¹¹ (*Associazione Italiana di Ricerca Operativa*), avente lo scopo di *promuovere studi teorici ed applicazioni pratiche della disciplina*.

2. Le radici e le pietre miliari nello sviluppo della Ricerca Operativa

Taluni risultati della matematica classica, conseguiti in epoche anche veramente lontane, sono stati ripresi e valorizzati, assumendo importanza, a volte considerevole, nello sviluppo di uno degli strumenti fondamentali della Ricerca Operativa: la *programmazione matematica*.

Tra i risultati della matematica da includere tra i *preludi della matematica applicata* vanno, certamente citati: le *equazioni diofantine*¹² (Diofante, III secolo a.C.); l'*Algoritmo Euclideo per la ricerca del Massimo Comune Divisore* (*Euclide*, 325-265 a.C. circa); la *Congettura di Pierre de Fermat*¹³ (1601-1665); il *problema del punto di Evangelista Torricelli*¹⁴ (1608-1647); l'*algoritmo di eliminazione* di *Johann Carl Friedrich Gauss*¹⁵ (1770). Senza soffermarsi su di essi vale evidenziare due lavori *storici* il cui interesse scientifico e pratico appare quanto mai attuale: il *problema dei Ponti di Königsberg*¹⁶ (*Eulero*, 1736); i cammini ed i cicli di *Hamilton* (1859).

I lavori di *Leonhard Euler* (italianizzato in *Eulero*) e di *William Rowan Hamilton*¹⁷ costituiscono, infatti, la fase

seminale di un settore della *ricerca applicata*, oggi di grandissima rilevanza, cui viene attribuita la denominazione generale di *routing*, che affronta gli aspetti metodologici e quelli applicativi della *distribuzione*, uno dei temi centrali della *logistica aziendale*. Giungendo alla Ricerca Operativa *moderna*, non v'è alcun dubbio che alcuni lavori di grandissimo livello, prodotti tra la metà degli anni '30 e la metà degli anni '40, costituiscano i capostipiti legittimi, e, per molti versi, le *pietre miliari* della Ricerca Operativa. Essi sono:

- i *Modelli Input-Output* di *Wassily Leontief*¹⁸ (1936);
- i *modelli matematici per la pianificazione della produzione* di *Leonid Vital'evich Kantorovich*¹⁹ (1939);
- i contributi di *F. L. Hitchcock* e *Tjalling C. Koopmans*²⁰ al problema del *Trasporto* (1941);
- la *Teoria dei Giochi* di *John von Neumann* e *Oskar Morgenstern* (1941);
- la *formulazione matematica dei problemi di programmazione lineare* e l'*algoritmo del semplice* di *George Bernard Dantzig* (1947)²¹.

L'addensamento temporale di questi risultati scientifici testimonia del verificarsi di un momento storico particolarmente favorevole e del realizzarsi di un sistema di sinergie culturali che furono in grado di moltiplicare la qualità oltre che la quantità dei risultati scientifici ottenuti, determinando, nei fatti, la nascita della Ricerca Operativa come disciplina scientifica.

3. La Ricerca Operativa e l'Università

Nell'immediato dopoguerra, la Ricerca Operativa divenne un settore di ricerca accademico.

Nel 1949 fu tenuto a Chicago quello che, storicamente, viene considerato il primo convegno (*Activity Analysis of Production and Allocation*)²² su temi, già da allora, di interesse della Ricerca Operativa.

Nelle Università degli Stati Uniti, a partire dagli anni '50 iniziarono corsi regolari di Ricerca Operativa.

In Italia l'ingresso della disciplina nell'Università avvenne alla fine degli anni '60 e solo nella prima metà degli anni '70 si ebbero i primi *professori ordinari* di Ricerca Operativa. Nella *Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli Federico II*, la Ricerca Operativa si insegna dall'Anno Accademico 1975-76.

La Commissione Didattica del *CIRO (Centro Interuniversitario di Ricerca Operativa)* ha condotto, nell'anno accademico 2003-2004, una indagine²³ tesa ad individuare la consistenza e le principali caratteristiche degli insegnamenti, tenuti nelle Università Italiane, rientranti nell'area culturale della Ricerca Operativa, tenuti sia da docenti afferenti al *Settore Scientifico Disciplinare MAT/09 RICERCA OPERATIVA* (83% del totale) che ad altri SSD affini. Ne è risultato un numero complessivo di corsi pari a 400 con una distribuzione geografica percentuale che va dal 1% della Sardegna (4 corsi) al 12% circa del Lazio e della Lombardia (48 e 46 corsi, rispettivamente).

Area	Corsi	%	Studenti (%)
Nord	180	45	38
Centro	113	28	27
Sud	87	22	23
Isole	20	5	12
Totale	400	100	100

Tab. 1 – Distribuzione per Aree Geografiche degli insegnamenti di R.O.

In *Campania*, in particolare, risultavano attivi, nell'anno accademico dell'indagine, 24 corsi del Settore Ricerca Operativa (pari al 6% del totale); il 50% di essi era tenuto presso la *Facoltà di Ingegneria di Napoli*. Una analisi per aree geografiche aggregate (si veda la *Tabella 1*) evidenzia una netta prevalenza del Nord rispetto alle altre aree geografiche.

Esaminando la ripartizione dei corsi tenuti tra le diverse *Facoltà* ci si rende conto che la materia trova la sua più forte radicazione e diffusione nelle *Facoltà di Ingegneria* che ospitano il 55% dei corsi tenuti. A *Facoltà di Scienze MFN* afferisce il 24.5% dei corsi, mentre in *Facoltà di Economia* si tiene il 15% del totale. Il residuo 4,5% è disperso tra *Facoltà di Scienze Statistiche* (3.5%), *Sociologia* (0.5%), *Architettura* (0.3%) e *Medicina* (0.3%). Un residuo 0.5% afferisce ad altre *Facoltà*.

4. Ma cosa è la Ricerca Operativa?

Le radici culturali della Ricerca Operativa affondano, principalmente, nella

ingegneria, nella *economia* e nella *matematica*. Va, comunque, posto l'accento sul fatto che, dopo taluni momenti di crisi verificatisi tra la fine degli anni '60 e l'inizio degli anni '70, la vera affermazione della disciplina come strumento per la soluzione di problemi di dimensione reale è stata determinata dallo sviluppo della *computer science* che ha consentito di passare dalla soluzione di problemi di piccola dimensione a quella dei problemi di media e grande dimensione, che, tipicamente, costituiscono la realtà. In altri termini, certamente la Ricerca Operativa non sarebbe quella che è oggi senza lo sviluppo dell'informatica.

I punti di vista sulla funzione e sulle caratteristiche della Ricerca Operativa coprono un ampio spettro di opinioni che si muove tra due posizioni in qualche modo antitetico, la prima delle quali vede la disciplina *legata alla decisione scientifica su come progettare e far funzionare in modo ottimo sistemi complessi costituiti da uomini e macchine in condizioni di risorse limitate*; la seconda che la vede come *una parte delle matematiche applicate*.

È possibile mediare tra questi due punti di vista estremi dicendo che *la Ricerca Operativa costituisce un approccio scientifico alla risoluzione di problemi relativi a sistemi complessi*²⁴. *Essa ha delle caratteristiche intrinsecamente interdisciplinari ed utilizza un insieme diversificato di strumenti, in prevalenza matematici, per la modellizzazione, la ottimizzazione ed il controllo di sistemi strutturati*.

In sintesi, la Ricerca Operativa può essere definita come *la disciplina che studia, su base quantitativa, i modelli concettuali dei processi decisionali connessi al funzionamento dei sistemi organizzati*²⁵. Proprio per questa sua caratteristica essa ha molteplici campi di impiego che coprono il settore industriale, la pianificazione territoriale e quella dei trasporti, la progettazione strutturale, la produzione e la gestione dell'energia, la tutela dell'ambiente, l'organizzazione e la gestione dei sistemi sanitari, l'organizzazione della difesa, la finanza e gli investimenti, la progettazione e la gestione delle reti di telecomunicazioni e molti altri ancora.

5. I settori applicativi della Ricerca Operativa

Una descrizione completa delle applicazioni attuali e di prospettiva della Ricerca Operativa è veramente difficile da realizzarsi. L'approccio metodologico di questa disciplina si è, infatti, tanto diffuso da penetrare in moltissimi settori applicativi, andando a costituire, per alcuni di essi, il substrato metodologico al quale ricercatori e managers fanno continuo riferimento.

Senza alcuna pretesa di esaurire l'argomento vengono, di seguito, indicati alcuni dei principali settori e dei temi applicativi che in essi ricadono, caratteristici delle diverse branche dell'Ingegneria civile ed industriale, che sono da considerarsi di interesse della Ricerca Operativa.

Pianificazione industriale. Problemi di pianificazione di lungo e di me-

dio periodo (localizzazione e dimensionamento degli impianti, scelta dei prodotti...). Problemi di programmazione della produzione (individuazione dei livelli di produzione). Gestione delle scorte (determinazione, nel tempo, del livello di scorte a magazzino; politiche di approvvigionamento). Marketing (progettazione di campagne pubblicitarie).

Logistica aziendale. Localizzazione di depositi. Determinazione di flotte e circuiti di raccolta e distribuzione di merci e semilavorati. Definizione dei movimenti interni.

Organizzazione del lavoro. Strategie di assunzione del personale. Determinazione dei turni del personale. Assegnazione della forza lavoro alle diverse attività, assegnazione di lavoro alle macchine.

Territorio. Realizzazione di piani territoriali. Problemi di distrettualizzazione. Distribuzione di *usi del suolo* sul territorio.

Ambiente. Controllo dei livelli di emissione e di concentrazione degli inquinanti atmosferici. Controllo dei livelli di inquinamento fluviali. Utilizzazione di risorse naturali.

Sanità. Valutazione della qualità dei servizi sanitari. Accettazione ed indirizzamento dei degenti all'interno di strutture ospedaliere o verso strutture ospedaliere. Ottimizzazione della diagnostica. Costruzione di diete alimentari personalizzate

Logistica territoriale. Localizzazione di servizi di emergenza e di infrastrutture collettive (scuole, ospedali,

uffici postali, vigili del fuoco, ...). Localizzazione di centri di smaltimento dei rifiuti solidi urbani. Determinazione delle flotte e dei circuiti di prelievo dei rifiuti.

*Trasporti terrestri*²⁶. Determinazione del tracciato e delle fermate di ferrovie urbane. Piani dei trasporti e piani del traffico. Piani di circolazione. Progetto di reti di trasporto. Localizzazione dei depositi degli autobus per il trasporto urbano ed extraurbano. Progettazione di reti di trasporto collettivo su gomma e formazione degli orari del servizio. Regolazione semaforica di reti stradali urbane.

Trasporti aerei e marittimi. Gestione dei terminali aeroportuali. Gestione dei flussi di traffico aereo. Controllo del traffico aereo. Gestione di porti. Movimentazione di containers. Stivaggio di navi *portacontainer*.

Realizzazione di progetti complessi, civili ed industriali, Project planning. Gestione delle attività (determinazione dei tempi di inizio delle diverse attività sulla base delle loro durate, dei vincoli di precedenza che esistono tra esse e delle risorse utilizzate)

Allocazione di componenti elettronici. Individuazione del layout di piastre elettroniche.

Settore militare e difesa. Affidabilità dei veicoli spaziali. Controllo di satelliti artificiali in orbita. Difesa aerea e missilistica. Ricerca e salvataggio di dispersi.

Telecomunicazioni. Progetto di reti di telecomunicazioni (individuazione dei collegamenti da realizzare e delle

relative capacità). Assegnazione di frequenze di trasmissione a reti di trasmettitori radio-televisivi. La utilizzazione della Ricerca Operativa nella progettazione di reti di telecomunicazione tradizionali e *wireless* costituisce uno dei settori, specie in questo secondo caso, più attuali e di prospettiva della disciplina²⁷.

7. Conclusioni

La Ricerca Operativa è una disciplina che ha poco più di mezzo secolo di vita ma di passi ne ha fatti molti e, nel futuro, anche prossimo, ne farà molti altri. Se la diffusione nell'Università può essere considerato un metro dello spazio che essa si è conquistato, è forse interessante ricordare che nell'anno accademico 1975-1976 (anno della sua introduzione), al primo corso di Ricerca Operativa tenuto presso la Facoltà di Ingegneria di Napoli partecipò una quindicina di studenti del Corso di Laurea

in Ingegneria dei Trasporti. A distanza di trenta anni i corsi sono diventati una dozzina

La Ricerca Operativa ha, peraltro, visto progressivamente crescere nel tempo la domanda di insegnamento, domanda che si è andata sviluppando in altri Corsi di Laurea della Facoltà, sino a coprire, trasversalmente, i settori dell'Informazione, della Ingegneria Gestionale e dell'Ingegneria Civile, con un numero di allievi annui complessivo dell'ordine di millecinquecento.

Oggi, dunque, un gran numero di ingegneri porta con sé, nel mondo del lavoro, gli strumenti e l'approccio alla soluzione dei problemi tipico della Ricerca Operativa e, sempre più spesso ci si imbatte in specialisti dei diversi settori applicativi che, nella pratica del loro lavoro, pur senza dichiararlo, fanno della Ricerca Operativa. E, forse, questo è il più lusinghiero segno del successo di questa disciplina.

¹ In realtà già dal 1934 erano state avviate, nel Regno Unito, attività di verifica e potenziamento della difesa antiaerea nazionale. Il primo obiettivo posto dall'*Air Ministry* era centrato sull'idea di realizzare il cosiddetto *raggio della morte*, un'arma che fosse in grado di neutralizzare i piloti e, di conseguenza, i loro aerei. Il Ministero interpellò, a tal proposito, il fisico scozzese *Robert Watson-Watt* (1892-1973), responsabile di un laboratorio di ricerca nazionale sulle onde radio (e discendente di *James Watt*), inventore della prima macchina a vapore con usi pratici). *Watson-Watt* bocciò l'idea di impegnare risorse nel tentativo di mettere a punto il *raggio della morte* e suggerì di indirizzare, invece, gli sforzi verso la progettazione di un sistema che, appunto, consentisse l'individuazione degli aerei ne-

mici utilizzando il principio della riflessione di onde radio. Il 26 febbraio del 1935 *Robert Watson-Watt* e *Arnold Wilkins* sperimentarono il loro sistema utilizzando un trasmettitore della *BBC* per localizzare un bombardiere inglese che fu utilizzato come aereo test. Nel maggio del 1935, *Watson-Watt*, *Wilkins* ed un piccolo gruppo di scienziati iniziarono a *Bawdsey* gli esperimenti che condussero alla realizzazione del primo radar operativo.

² *Henry Thomas Tizard* (1885-1959) fu chiamato, nel 1933, a presiedere il *Committee for the Scientific Survey of Air Defense* e rimase in quella posizione nel corso di quasi tutta la Seconda Guerra Mondiale. Non v'è dubbio che il suo merito principale fu quello di aver compreso che non bastava, per organizzare una difesa

efficiente, disporre di apparecchiature scientifiche di alto livello ma che era indispensabile che le risorse venissero impiegate in modo razionale e che il personale fosse perfettamente addestrato al loro uso. L'applicazione di questi principi nell'uso del radar si rivelò decisivo nel corso della *Battaglia d'Inghilterra* e ciò è testimoniato dal fatto che 640 aerei della RAF riuscirono a fronteggiarne oltre 2600 della *Luftwaffe*.

³ A. P. Rowe fu Segretario, dal 1935 al 1940, del Comitato presieduto da Tizard.

⁴ Patrick M. S. Blackett (1897-1974) fu insignito del premio Nobel per la Fisica nel 1948.

⁵ Il comando della Royal Air Force aveva deciso, per tener conto del possibile inabissamento del sommergibile una volta avvistato l'aereo, che le spolette a tempo fossero regolate per esplodere a 30 metri di profondità. Il gruppo di Blackett, dopo un notevole numero di simulazioni di azioni di combattimento, giunse alla conclusione che questa scelta era sbagliata e che le probabilità di colpire il bersaglio sarebbero aumentate di molto se la spoletta fosse stata regolata in modo che la bomba esplodesse appena sotto la superficie dell'acqua, in quanto solo quando il sommergibile non era completamente immerso la mira nel lancio poteva essere relativamente precisa.

⁶ Le due lievemente differenti denominazioni di *Operational Research* e *Operations Research* sono ancora oggi in uso. In particolare gli americani utilizzano la prima mentre gli europei tendono ad utilizzare la seconda.

⁷ Waddington C.H. (1973). *O.R. in World War 2 – Operational Research against the U-Boat*, History of Science Series, C.W. Kilmist Ed., Elek Science, London.

⁸ La guerra in Corea si sviluppò tra il 1950 ed il 1953 e fu combattuta, a cavallo del 38° parallelo, dagli Stati Uniti, dalla Corea del Sud e da una coalizione di stati del blocco occidentale contro la Corea del Nord che aveva l'appoggio militare dell'Unione Sovietica e della Cina.

⁹ Particolare rilevanza assume l'applicazione, nata nel Regno Unito, della Ricerca Operativa al settore della mobilità che, senza dubbio, ha determinato l'impostazione di base dell'Ingegneria dei Trasporti moderna.

¹⁰ Proprio a testimonianza di questo gap tempo-

rale, vale ricordare che la *ORA* (*Operational Research Association*) inglese fu fondata nel 1948 e che la *ORSA* (*Operational Research Society of America*), oggi *INFORMS* (*Institute For Operations Research and Management Science*), fu fondata nel 1952.

¹¹ Del gruppo che costituì l'AIRO facevano parte, tra gli altri, il Presidente dell'ENI, Enrico Mattei, ed il Presidente della FIAT Vittorio Valletta. Per informazioni sull'Associazione Italiana di Ricerca Operativa è possibile consultare il sito <http://www.airo.org>. L'AIRO è strutturata in *Sezioni Territoriali*. La *Sezione Territoriale Campana* è ospitata presso la Cattedra di Ricerca Operativa della facoltà di Ingegneria di Napoli.

¹² Cercare le soluzioni intere di una equazione polinomiale a coefficienti interi.

¹³ L'equazione $x^n + y^n = z^n$ ($n > 2$) non ammette soluzioni intere con x, y, z non nulli [è chiaro che (1,0,1) è una soluzione]. La congettura di Fermat è stata dimostrata da Wiles e Taylor i cui lavori sono pubblicati nel volume 141 (1995) degli *Annals of Mathematics*.

¹⁴ Dato un triangolo ABC i cui angoli siano ciascuno minore di 120° , trovare un punto P tale che la somma $PA + PB + PC$ sia minima.

¹⁵ L'algoritmo di eliminazione di Gauss, per la soluzione di sistemi di equazioni lineari si basa sulla trasformazione di un sistema di equazioni lineari non singolare in uno triangolare ad esso equivalente.

¹⁶ Königsberg, nel 1946, dopo l'annessione della Prussia Orientale all'URSS fu denominata Kaliningrad, in memoria di Kalinin, un fidato collaboratore di Stalin, che era da poco scomparso.

¹⁷ La ricerca di circuiti euleriani e circuiti hamiltoniani viene connotata in letteratura attraverso le denominazioni gergali di *chinese postman problem* e *travelling salesman problem*.

¹⁸ Wassily Leontief (1906-1999) è stato insignito del premio Nobel per l'Economia nel 1973.

¹⁹ Leonid V. Kantorovich (1912-1986) è stato insignito, con Koopmans, del premio Nobel per l'Economia nel 1975.

²⁰ Tjalling C. Koopmans (1910-1985), come si è già detto, è stato insignito del premio Nobel per l'Economia, nel 1975.

²¹ Si veda: Gennaro Improta (2004) *Programmazione Lineare* - 2° edizione – Edizioni Scientifiche Italiane.

²² Questo convegno, indicato da *George B. Dantzig (1914-2005)* come *Symposium Zero*, fu organizzato da *Tjalling Koopmans* e tutti i giovani ricercatori che presentarono, in quell'occasione, lavori, *T. Koopmans* (Nobel nel 1975), *Kenneth Arrow* (Nobel nel 1972), *Herbert A. Simmons* (Nobel nel 1978) e *Paul Samuelson* (Nobel nel 1970), vinsero, successivamente il premio Nobel per l'Economia.

²³ Informazioni di maggior dettaglio su tale indagine sono disponibili nella pagina del Prof. *Silvano Martello*, dell'Università di Bologna, Coordinatore della Commissione Didattica del CIRO: <http://www.or.deis.unibo.it/staff/martello/indagine2004/home.htm>

²⁴ Senza voler affrontare, in questa sede, il concetto di *complessità* è forse il caso di sottolineare che la complessità di un sistema è certamente

correlata al numero di *variabili* in gioco e di *relazioni* che legano tra loro i diversi sottosistemi. Tanto più elevato è il numero delle variabili e tanto più numerose sono le relazioni tra i sottosistemi (e, dunque, più difficili a descriversi le interazioni mutue), tanto più complesso è il sistema.

²⁵ Si veda: Lucio Bianco e Mario Lucertini *Operativa Ricerca*, voce della 5ª Appendice *Enciclopedia Treccani* Vol. III.

²⁶ Il volume *Scienze delle Decisioni per i Trasporti* di *Stefano Pallottino* ed *Anna Sciomachen* – Franco Angeli Editore 1999 – fornisce una vasta panoramica delle applicazioni della Ricerca Operativa al settore dei trasporti nelle sue diverse accezioni.

²⁷ Si veda: *La Ricerca Operativa di fronte alla sfida della complessità dei sistemi* – Lucio Bianco – Workshop in ricordo di *Paolo Carraresi* – Università di Pisa 3 marzo 2004.