

Ricerca Operativa

Lezione introduttiva

Laura Palagi

Dipartimento di Informatica e Sistemistica A. Ruberti
Sapienza Università di Roma

Via Ariosto 25



Il nome

- ▶ Ricerca Operativa è la traduzione letterale dell'inglese
 - ▶ (britannico) "operational research" o
 - ▶ (americano) "operations research",
- ▶ ovvero "ricerca sulle operazioni"

Il nome

- ▶ Ricerca Operativa è la traduzione letterale dell'inglese
 - ▶ (britannico) "operational research" o
 - ▶ (americano) "operations research",
- ▶ ovvero "ricerca sulle operazioni **militari**"



Il nome

- ▶ Ricerca Operativa è la traduzione letterale dell'inglese
 - ▶ (britannico) "operational research" o
 - ▶ (americano) "operations research",
- ▶ ovvero "ricerca sulle operazioni **militari**"
- ▶ Entrambi sono spesso abbreviati con la sigla "OR"

Il nome

- ▶ Ricerca Operativa è la traduzione letterale dell'inglese
 - ▶ (britannico) "operational research" o
 - ▶ (americano) "operations research",
- ▶ ovvero "ricerca sulle operazioni **militari**"
- ▶ Entrambi sono spesso abbreviati con la sigla "OR"
- ▶ Un altro nome spesso utilizzato in questo settore è "management science" ("MS"). In effetti negli USA i due termini sono spesso usati congiuntamente "OR/MS" o "ORMS".

Il nome

- ▶ Ricerca Operativa è la traduzione letterale dell'inglese
 - ▶ (britannico) "operational research" o
 - ▶ (americano) "operations research",
- ▶ ovvero "ricerca sulle operazioni **militari**"
- ▶ Entrambi sono spesso abbreviati con la sigla "OR"
- ▶ Un altro nome spesso utilizzato in questo settore è "management science" ("MS"). In effetti negli USA i due termini sono spesso usati congiuntamente "OR/MS" o "ORMS".
- ▶ Altri termini collegati sono "ingegneria industriale" ("IE"), o "scienza delle decisioni" (decision science - "DS")

Le origini

- ▶ Il nome ha un'origine ben identificabile legata ad operazioni belliche della Seconda Guerra Mondiale



Le origini

- ▶ Il nome ha un'origine ben identificabile legata ad operazioni belliche della Seconda Guerra Mondiale
- ▶ Si possono però ricondurre alla RO molti esempi importanti di natura diversa, tra cui citiamo
 1. il problema dei Ponti di Konisberg (Eulero, 1736);
 2. i cammini ed i cicli di Hamilton (1859);
 3. Modelli Input-Output di Wassily Leontief (1936);
 4. i modelli matematici per la pianificazione della produzione di Leonid Vital'evich Kantorovich (1939);
 5. la Teoria dei Giochi di John von Neumann e Oskar Morgenstern (1941);
 6. ...



Biggin Hill Experiment

Seppure tutti concordino sul fatto che la RO sia nata durante la II Guerra Mondiale, esistono diverse versioni dei fatti.

Biggin Hill Experiment

Seppure tutti concordino sul fatto che la RO sia nata durante la II Guerra Mondiale, esistono diverse versioni dei fatti.

Qui riportiamo brevemente la ricostruzione del Prof. J. E. Beasley <http://people.brunel.ac.uk/~mastjib/jeb/jeb.html>.

i dettagli in <http://people.brunel.ac.uk/~mastjib/jeb/or/intro.html>



Biggin Hill Experiment

Seppure tutti concordino sul fatto che la RO sia nata durante la II Guerra Mondiale, esistono diverse versioni dei fatti.

Qui riportiamo brevemente la ricostruzione del Prof. J. E. Beasley <http://people.brunel.ac.uk/~mastjib/jeb/jeb.html>.

i dettagli in <http://people.brunel.ac.uk/~mastjib/jeb/or/intro.html>

Tra il 1935 e il 1937 il Regno Unito lavorò ad un sistema pre-bellico di controllo della difesa aerea basato sull'uso del radar (radio detection and ranging) come difesa antiaerea.

- ▶ (1936) La Royal Air Force (RAF) iniziò degli esperimenti in una stazione radar situata a Bawdsey Research Station.

Biggin Hill Experiment

Seppure tutti concordino sul fatto che la RO sia nata durante la II Guerra Mondiale, esistono diverse versioni dei fatti.

Qui riportiamo brevemente la ricostruzione del Prof. J. E. Beasley <http://people.brunel.ac.uk/~mastjib/jeb/jeb.html>.

i dettagli in <http://people.brunel.ac.uk/~mastjib/jeb/or/intro.html>

Tra il 1935 e il 1937 il Regno Unito lavorò ad un sistema pre-bellico di controllo della difesa aerea basato sull'uso del radar (radio detection and ranging) come difesa antiaerea.

- ▶ (1936) La Royal Air Force (RAF) iniziò degli esperimenti in una stazione radar situata a Bawdsey Research Station.
- ▶ Tecnicamente i radar erano estremamente affidabili per la localizzazione di un aereo nemico, ma non erano montati sugli apparecchi e dunque era necessario che il pilota fosse guidato da terra nel posto e nel momento giusti.

Biggin Hill Experiment

- ▶ (1937) Nacque così il "Biggin Hill Experiment", che costituì il primo tentativo di integrare i dati ottenuti dai radar con quelli osservati a terra. (Ottimizzazione della distribuzione delle apparecchiature radar sul territorio e segnalazione via radio ad opportune località).

Biggin Hill Experiment

- ▶ (1937) Nacque così il "Biggin Hill Experiment", che costituì il primo tentativo di integrare i dati ottenuti dai radar con quelli osservati a terra. (Ottimizzazione della distribuzione delle apparecchiature radar sul territorio e segnalazione via radio ad opportune località).
- ▶ **I risultati non furono soddisfacenti**

Biggin Hill Experiment

- ▶ (1937) Nacque così il "Biggin Hill Experiment", che costituì il primo tentativo di integrare i dati ottenuti dai radar con quelli osservati a terra. (Ottimizzazione della distribuzione delle apparecchiature radar sul territorio e segnalazione via radio ad opportune località).
- ▶ **I risultati non furono soddisfacenti**
- ▶ (1938) Si aggiungono altre 4 stazioni radar lungo la costa nel tentativo di migliorare sia in copertura sia in efficienza il sistema di localizzazione controllo degli aerei della RAF.

Biggin Hill Experiment

- ▶ (1937) Nacque così il "Biggin Hill Experiment", che costituì il primo tentativo di integrare i dati ottenuti dai radar con quelli osservati a terra. (Ottimizzazione della distribuzione delle apparecchiature radar sul territorio e segnalazione via radio ad opportune località).
- ▶ **I risultati non furono soddisfacenti**
- ▶ (1938) Si aggiungono altre 4 stazioni radar lungo la costa nel tentativo di migliorare sia in copertura sia in efficienza il sistema di localizzazione controllo degli aerei della RAF.
- ▶ **Invece non migliora.** Nasce la necessità di coordinare e correlare le tante informazioni, spesso anche in conflitto tra di loro.

Biggin Hill Experiment

- ▶ (1937) Nacque così il "Biggin Hill Experiment", che costituì il primo tentativo di integrare i dati ottenuti dai radar con quelli osservati a terra. (Ottimizzazione della distribuzione delle apparecchiature radar sul territorio e segnalazione via radio ad opportune località).
- ▶ **I risultati non furono soddisfacenti**
- ▶ (1938) Si aggiungono altre 4 stazioni radar lungo la costa nel tentativo di migliorare sia in copertura sia in efficienza il sistema di localizzazione controllo degli aerei della RAF.
- ▶ **Invece non migliora.** Nasce la necessità di coordinare e correlare le tante informazioni, spesso anche in conflitto tra di loro.
- ▶ Nell'imminenza della guerra, il sovrintendente della Bawdsey Res. St., A.P. Rowe, propose di sviluppare gli aspetti operativi (OPERATIONAL) del sistema e non più quelli prettamente tecnici che erano da considerare soddisfacenti.
- ▶ **Fu coniata l'espressione "operational research".**

Operational Research Section

- ▶ Fu selezionato un gruppo di scienziati di varie discipline per costituire un OR team; il progetto fu diretto dal comandante in capo della RAF, Air Chief Marshal Sir Hugh Dowding.

Operational Research Section

- ▶ Fu selezionato un gruppo di scienziati di varie discipline per costituire un OR team; il progetto fu diretto dal comandante in capo della RAF, Air Chief Marshal Sir Hugh Dowding.
- ▶ (1939) la Gran Bretagna effettuò l'ultima esercitazione pre-bellica dove si evidenziò un notevole miglioramento nelle operazioni di difesa aerea grazie al contributo del gruppo di OR.

Operational Research Section

- ▶ Fu selezionato un gruppo di scienziati di varie discipline per costituire un OR team; il progetto fu diretto dal comandante in capo della RAF, Air Chief Marshal Sir Hugh Dowding.
- ▶ (1939) la Gran Bretagna effettuò l'ultima esercitazione pre-bellica dove si evidenziò un notevole miglioramento nelle operazioni di difesa aerea grazie al contributo del gruppo di OR.
- ▶ (1943) la RO è usata negli USA
 1. guerra antisommergibile
 2. dimensionamento dei convogli navali
 3. scelta dei bersagli nelle incursioni aeree
 4. avvistamento ed intercettazione degli aerei nemici

RO: organizzazione scientifica interdisciplinare

- ▶ Nel corso della II guerra mondiale, furono complessivamente impegnati, nel Regno Unito, in Canada ed in USA, oltre 700 scienziati di diversi settori collaborano per determinare la più efficiente utilizzazione di risorse limitate usando tecniche quantitative

RO: organizzazione scientifica interdisciplinare

- ▶ Nel corso della II guerra mondiale, furono complessivamente impegnati, nel Regno Unito, in Canada ed in USA, oltre 700 scienziati di diversi settori collaborano per determinare la più efficiente utilizzazione di risorse limitate usando tecniche quantitative
- ▶ (1948) Nasce negli USA il progetto RAND (research and development)

(dal sito <http://www.rand.org/about/history/>)

”RAND Mission: The RAND Corporation is a nonprofit institution that helps improve policy and decisionmaking through research and analysis” con lo scopo di ”further and promote scientific, educational, and charitable purposes, all for the public welfare and security of the United States of America.”

La RO oggi

- ▶ La Ricerca Operativa consiste nell'applicare metodi analitici avanzati allo scopo di risolvere problemi di decisione complessi che si presentano in molteplici settori della vita reale.

La RO oggi

- ▶ La Ricerca Operativa consiste nell'applicare metodi analitici avanzati allo scopo di risolvere problemi di decisione complessi che si presentano in molteplici settori della vita reale.
- ▶ Il semplice buon senso, cioè l'impiego di una persona competente del settore che sulla base dell'esperienza acquisita nel corso degli anni gestisca il sistema non è più sufficiente a far fronte alla sempre più crescente complessità organizzativa della gran parte dei sistemi di produzione e servizio.

La RO oggi

- ▶ La Ricerca Operativa consiste nell'applicare metodi analitici avanzati allo scopo di risolvere problemi di decisione complessi che si presentano in molteplici settori della vita reale.
- ▶ Il semplice buon senso, cioè l'impiego di una persona competente del settore che sulla base dell'esperienza acquisita nel corso degli anni gestisca il sistema non è più sufficiente a far fronte alla sempre più crescente complessità organizzativa della gran parte dei sistemi di produzione e servizio.
- ▶ La diffusione è stata favorita dallo sviluppo dei calcolatori e della diffusione di mezzi di calcolo sempre più potenti.

Alcuni esempi applicativi

- ▶ Problemi in ambito industriale



Alcuni esempi applicativi

► Problemi in ambito industriale

1. **pianificazione della produzione**: determinare i livelli di produzione e/o l'utilizzazione di risorse; ad es. allocazione ottima di risorse = distribuzione di risorse limitate tra alternative concorrenti in modo da minimizzare il costo o massimizzare il guadagno



Alcuni esempi applicativi

► Problemi in ambito industriale

1. **pianificazione della produzione**: determinare i livelli di produzione e/o l'utilizzazione di risorse; ad es. allocazione ottima di risorse = distribuzione di risorse limitate tra alternative concorrenti in modo da minimizzare il costo o massimizzare il guadagno
2. **gestione ottima delle scorte**: decidere quando e quanto, durante un processo produttivo, si devono immagazzinare prodotti in modo da rispettare le consegne minimizzando i costi.

Alcuni esempi applicativi

► Problemi in ambito industriale

1. **pianificazione della produzione**: determinare i livelli di produzione e/o l'utilizzazione di risorse; ad es. allocazione ottima di risorse = distribuzione di risorse limitate tra alternative concorrenti in modo da minimizzare il costo o massimizzare il guadagno
2. **gestione ottima delle scorte**: decidere quando e quanto, durante un processo produttivo, si devono immagazzinare prodotti in modo da rispettare le consegne minimizzando i costi.
3. **localizzazione e dimensionamento di impianti**: decidere dove installare impianti di produzione in modo da rifornire in modo ottimale aree distribuite su un territorio, ad es. dove costruire le stazioni base di una rete di telecomunicazioni (GSM/UMTS) e la potenza di trasmissione per coprire il territorio .

► Problemi di progettazione ottima:

1. **progettazione di reti e loro gestione**: definire i collegamenti e dimensionare le capacità di una rete stradale, di telecomunicazione, di trasmissione dati, di circuiti, in modo da garantire il traffico tra le varie origini e destinazioni e minimizzare il costo complessivo;

► Problemi di progettazione ottima:

1. **progettazione di reti e loro gestione**: definire i collegamenti e dimensionare le capacità di una rete stradale, di telecomunicazione, di trasmissione dati, di circuiti, in modo da garantire il traffico tra le varie origini e destinazioni e minimizzare il costo complessivo;
2. **progettazione strutturale**: definire il progetto di un edificio, in modo che resista al meglio a sollecitazioni derivanti da agenti esterni (terremoti, venti forti) oppure il progetto del profilo di un ala di un aereo in modo che, ad esempio, sia massimizzata la portanza;



► Problemi di progettazione ottima:

1. **progettazione di reti e loro gestione**: definire i collegamenti e dimensionare le capacità di una rete stradale, di telecomunicazione, di trasmissione dati, di circuiti, in modo da garantire il traffico tra le varie origini e destinazioni e minimizzare il costo complessivo;
2. **progettazione strutturale**: definire il progetto di un edificio, in modo che resista al meglio a sollecitazioni derivanti da agenti esterni (terremoti, venti forti) oppure il progetto del profilo di un ala di un aereo in modo che, ad esempio, sia massimizzata la portanza;
3. **VLSI design** (allocazione ottima di componenti elettronici): disegnare una piastra madre in modo che, ad esempio, siano minimizzate le lunghezze dei percorsi dei segnali elettrici;



► Problemi di organizzazione

1. **determinazione dei turni del personale**: coprire una serie di servizi rispettando i vincoli di contratto aziendale e minimizzando i costi



► Problemi di organizzazione

1. **determinazione dei turni del personale**: coprire una serie di servizi rispettando i vincoli di contratto aziendale e minimizzando i costi
2. **manutenzione di beni**: decidere quando e se effettuare la manutenzione di alcuni oggetti soggetti ad usura, in modo da minimizzare il costo complessivo.



► Problemi di organizzazione

1. **determinazione dei turni del personale**: coprire una serie di servizi rispettando i vincoli di contratto aziendale e minimizzando i costi
2. **manutenzione di beni**: decidere quando e se effettuare la manutenzione di alcuni oggetti soggetti ad usura, in modo da minimizzare il costo complessivo.
3. **instradamento di veicoli**: decidere quali percorsi devono seguire i veicoli di un flotta (ad esempio di automezzi adibiti alla raccolta dei rifiuti o alla distribuzioni di prodotti ad una rete di negozi) in modo da minimizzare la distanza complessiva percorsa;



► Problemi di organizzazione

1. **determinazione dei turni del personale**: coprire una serie di servizi rispettando i vincoli di contratto aziendale e minimizzando i costi
2. **manutenzione di beni**: decidere quando e se effettuare la manutenzione di alcuni oggetti soggetti ad usura, in modo da minimizzare il costo complessivo.
3. **instradamento di veicoli**: decidere quali percorsi devono seguire i veicoli di un flotta (ad esempio di automezzi adibiti alla raccolta dei rifiuti o alla distribuzioni di prodotti ad una rete di negozi) in modo da minimizzare la distanza complessiva percorsa;
4. **project planning**: decidere come gestire le risorse e come sequenziare le molteplici attività di un progetto.



► Problemi di economia e finanza

1. **scelta di investimenti**: scegliere fra un vasto numero di possibilità di investimento rispettando i vincoli imposti da un budget finanziario e massimizzando il guadagno;



► Problemi di economia e finanza

1. **scelta di investimenti**: scegliere fra un vasto numero di possibilità di investimento rispettando i vincoli imposti da un budget finanziario e massimizzando il guadagno;
2. **composizione di un portafoglio**: decidere quali titoli e con quali quote investire capitali in modo da massimizzare il ricavo o minimizzare il rischio;

► Problemi di economia e finanza

1. **scelta di investimenti**: scegliere fra un vasto numero di possibilità di investimento rispettando i vincoli imposti da un budget finanziario e massimizzando il guadagno;
2. **composizione di un portafoglio**: decidere quali titoli e con quali quote investire capitali in modo da massimizzare il ricavo o minimizzare il rischio;

- Problemi di **revenue management** (lett. "Gestione del ritorno economico"): in una azienda caratterizzata da varietà di servizi e di prezzi, domanda variabile nel tempo, stabilire quanti e quali servizi vendere avendo incertezza sulla domanda futura, allo scopo di massimizzare il profitto globale. (compagnie di trasporto aereo, ferroviario, marittimo, catene alberghiere e di noleggio auto).



Enumerazione esaustiva delle soluzioni

Questo esempio è dovuto a G.B. Dantzig - Linear Programming *the story about it began: some legends, a little about historical significance, and comments about where its many mathematical programming extensions may be headed* in History of Mathematical programming - a collection of personal reminiscences, J.K. Lenstra, A.H.G.

Rinnooy Kan and A. Schrijver eds., North Holland (1991).

Supponiamo di dover assegnare 70 dipendenti a 70 differenti mansioni.

Enumerazione esaustiva delle soluzioni

Questo esempio è dovuto a G.B. Dantzig - *Linear Programming the story about it began: some legends, a little about historical significance, and comments about where its many mathematical programming extensions may be headed* in *History of Mathematical programming - a collection of personal reminiscences*, J.K. Lenstra, A.H.G.

Rinnooy Kan and A. Schrijver eds., North Holland (1991).

Supponiamo di dover assegnare 70 dipendenti a 70 differenti mansioni.

Le capacità lavorative di ogni singolo dipendente sono diverse, dunque non è indifferente per l'azienda come effettuare l'assegnamento. Sia v_{ij} una quantificazione del beneficio che si ottiene assegnando la persona i -esima alla mansione j -esimo.

Enumerazione esaustiva delle soluzioni

Questo esempio è dovuto a G.B. Dantzig - *Linear Programming the story about it began: some legends, a little about historical significance, and comments about where its many mathematical programming extensions may be headed* in *History of Mathematical programming - a collection of personal reminiscences*, J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan and A. Schrijver eds., North Holland (1991).

Supponiamo di dover assegnare 70 dipendenti a 70 differenti mansioni.

Le capacità lavorative di ogni singolo dipendente sono diverse, dunque non è indifferente per l'azienda come effettuare l'assegnamento. Sia v_{ij} una quantificazione del beneficio che si ottiene assegnando la persona i -esima alla mansione j -esimo.

I vincoli sono

- ▶ ciascun dipendente deve essere assegnato ad un solo lavoro
- ▶ ciascuna mansione deve essere svolta esattamente da un dipendente



Esempio di Dantzig

Dunque ci sono 2×70 vincoli e $70 \times 70 = 4900$ possibili assegnamenti.

Esempio di Dantzig

Dunque ci sono 2×70 vincoli e $70 \times 70 = 4900$ possibili assegnamenti.

Il problema consiste nel confrontare le **70!** possibilità che ci sono per selezionare quella migliore nel senso che permetta di ottenere il maggiore utile per l'azienda.

Esempio di Dantzig

Dunque ci sono 2×70 vincoli e $70 \times 70 = 4900$ possibili assegnamenti.

Il problema consiste nel confrontare le **70!** possibilità che ci sono per selezionare quella migliore nel senso che permetta di ottenere il maggiore utile per l'azienda.

Le possibilità sono un numero molto grande, più grande di 10^{100} . Si supponga di disporre di un calcolatore capace di effettuare un milione di calcoli al secondo e che sia in funzione da 15 miliardi di anni (il tempo del big bang); avrebbe questo calcolatore oggi nell'anno 2000 esaminato tutte le **70!** combinazioni possibili ?



Esempio di Dantzig

Dunque ci sono 2×70 vincoli e $70 \times 70 = 4900$ possibili assegnamenti.

Il problema consiste nel confrontare le **70!** possibilità che ci sono per selezionare quella migliore nel senso che permetta di ottenere il maggiore utile per l'azienda.

Le possibilità sono un numero molto grande, più grande di 10^{100} . Si supponga di disporre di un calcolatore capace di effettuare un milione di calcoli al secondo e che sia in funzione da 15 miliardi di anni (il tempo del big bang); avrebbe questo calcolatore oggi nell'anno 2000 esaminato tutte le 70! combinazioni possibili ?

La risposta è no.

Esempio di Dantzig

La risposta è ancora no anche se disponessimo di tanti calcolatore che lavorano in parallelo sufficienti a coprire la superficie terrestre e che possano effettuare un bilione di assegnamenti per ogni nano secondo.

Esempio di Dantzig

La risposta è ancora no anche se disponessimo di tanti calcolatore che lavorano in parallelo sufficienti a coprire la superficie terrestre e che possano effettuare un bilione di assegnamenti per ogni nano secondo.

In certe situazioni è dunque assolutamente impossibile esaminare tutti i casi possibili per determinare qual è il migliore.

- ▶ *“ad hoc” ground-rule approach*: affidarsi al buon senso di persone guidate dall’esperienza che stabilivano regole “ad hoc” di base che dovevano essere seguite per risolvere i problemi .

Esempio di Dantzig

La risposta è ancora no anche se disponessimo di tanti calcolatore che lavorano in parallelo sufficienti a coprire la superficie terrestre e che possano effettuare un bilione di assegnamenti per ogni nano secondo.

In certe situazioni è dunque assolutamente impossibile esaminare tutti i casi possibili per determinare qual è il migliore.

- ▶ *“ad hoc” ground-rule approach*: affidarsi al buon senso di persone guidate dall’esperienza che stabilivano regole “ad hoc” di base che dovevano essere seguite per risolvere i problemi .
- ▶ *approccio modellistico-ottimizzatorio*: approccio introdotto dalla RO

Cosa è un modello

Il termine *modello* è di solito usato per indicare una costruzione artificiale realizzata per evidenziare proprietà specifiche di oggetti reali.

- ▶ modelli concreti: ad esempio i prototipi di aerei o automobili),

Cosa è un modello

Il termine *modello* è di solito usato per indicare una costruzione artificiale realizzata per evidenziare proprietà specifiche di oggetti reali.

- ▶ modelli concreti: ad esempio i prototipi di aerei o automobili),
- ▶ *modelli astratti* cioè *modelli matematici* che usano il simbolismo dell'algebra per mettere in evidenza le relazioni principali dell'oggetto che deve essere modellato.

I modelli della RO

La Ricerca Operativa utilizza un approccio modellistico ai problemi, diviso essenzialmente in 2 fasi

I modelli della RO

La Ricerca Operativa utilizza un approccio modellistico ai problemi, diviso essenzialmente in 2 fasi

- ▶ la rappresentazione del problema attraverso un modello matematico che ne astragga gli aspetti essenziali e che schematizzi le interrelazioni esistenti tra i diversi aspetti del fenomeno che si sta studiando;

I modelli della RO

La Ricerca Operativa utilizza un approccio modellistico ai problemi, diviso essenzialmente in 2 fasi

- ▶ la rappresentazione del problema attraverso un modello matematico che ne astragga gli aspetti essenziali e che schematizzi le interrelazioni esistenti tra i diversi aspetti del fenomeno che si sta studiando;
- ▶ lo sviluppo di metodi matematici efficienti (algoritmi di soluzione) per determinare una soluzione ottima del problema o una sua buona approssimazione.

È evidente come in molti casi le situazioni rappresentate da un modello sono molto complesse; per questa ragione, sono state definite diverse classi di modelli matematici:

- ▶ *modelli stocastici* che considerano grandezze che possono essere influenzate da fenomeni aleatori e
 - ▶ *modelli deterministici* che considerano grandezze esatte;
- e anche
- ▶ *modelli statici* le interazioni tra le grandezze sono immediate
 - ▶ *modelli dinamici* e interazioni tra le grandezze sono distribuite nel tempo.

Molti modelli usati in RO hanno forme standard. I modelli considerati in questo corso sono principalmente quelli basati sulla *Programmazione Matematica* che sono i modelli standard più comunemente usati.



Molti modelli usati in RO hanno forme standard. I modelli considerati in questo corso sono principalmente quelli basati sulla *Programmazione Matematica* che sono i modelli standard più comunemente usati.

Sono modelli in cui si richiede di determinare punti di massimo o di minimo di una funzione reale in un insieme prefissato.

Molti modelli usati in RO hanno forme standard. I modelli considerati in questo corso sono principalmente quelli basati sulla *Programmazione Matematica* che sono i modelli standard più comunemente usati.

Sono modelli in cui si richiede di determinare punti di massimo o di minimo di una funzione reale in un insieme prefissato. In questo contesto il termine “programmazione” non deve essere inteso nel senso di di costruzione di programmi per il calcolatore, seppur il calcolatore elettronico sia uno strumento indispensabile per risolvere problemi di Programmazione Matematica.

Approccio modellistico ai problemi di decisione

▶ **Descrizione e Analisi del problema**

- ▶ individuare i parametri di controllo, i legami logico-funzionali e gli obiettivi

▶ **Costruzione del modello**

▶ **Analisi del modello**

▶ **Selezione di “buone” soluzioni**

▶ **Validazione del modello**

Approccio modellistico ai problemi di decisione

▶ **Descrizione e Analisi del problema**

- ▶ individuare i parametri di controllo, i legami logico-funzionali e gli obiettivi

▶ **Costruzione del modello**

- ▶ descrizione formalizzata del problema: individuazione di una corrispondenza tra relazioni del mondo reale (relazioni tecnologiche, leggi fisiche, vincoli di mercato, etc.) e relazioni matematiche (equazioni, disequazioni, dipendenze logiche, etc.)

▶ **Analisi del modello**

▶ **Selezione di “buone” soluzioni**

▶ **Validazione del modello**

Approccio modellistico ai problemi di decisione

▶ **Descrizione e Analisi del problema**

- ▶ individuare i parametri di controllo, i legami logico-funzionali e gli obiettivi

▶ **Costruzione del modello**

- ▶ descrizione formalizzata del problema: individuazione di una corrispondenza tra relazioni del mondo reale (relazioni tecnologiche, leggi fisiche, vincoli di mercato, etc.) e relazioni matematiche (equazioni, disequazioni, dipendenze logiche, etc.)

▶ **Analisi del modello**

- ▶ deduzione per via analitica di alcune importanti proprietà, quali esistenza, unicità, stabilità ecc.

▶ **Selezione di “buone” soluzioni**

▶ **Validazione del modello**

Approccio modellistico ai problemi di decisione

▶ **Descrizione e Analisi del problema**

- ▶ individuare i parametri di controllo, i legami logico-funzionali e gli obiettivi

▶ **Costruzione del modello**

- ▶ descrizione formalizzata del problema: individuazione di una corrispondenza tra relazioni del mondo reale (relazioni tecnologiche, leggi fisiche, vincoli di mercato, etc.) e relazioni matematiche (equazioni, disequazioni, dipendenze logiche, etc.)

▶ **Analisi del modello**

- ▶ deduzione per via analitica di alcune importanti proprietà, quali esistenza, unicità, stabilità ecc.

▶ **Selezione di “buone” soluzioni**

- ▶ (ottimizzazione e/o simulazione)

▶ **Validazione del modello**

Approccio modellistico ai problemi di decisione

▶ **Descrizione e Analisi del problema**

- ▶ individuare i parametri di controllo, i legami logico-funzionali e gli obiettivi

▶ **Costruzione del modello**

- ▶ descrizione formalizzata del problema: individuazione di una corrispondenza tra relazioni del mondo reale (relazioni tecnologiche, leggi fisiche, vincoli di mercato, etc.) e relazioni matematiche (equazioni, disequazioni, dipendenze logiche, etc.)

▶ **Analisi del modello**

- ▶ deduzione per via analitica di alcune importanti proprietà, quali esistenza, unicità, stabilità ecc.

▶ **Selezione di “buone” soluzioni**

- ▶ (ottimizzazione e/o simulazione)

▶ **Validazione del modello**

- ▶ verifica che i risultati ottenuti siano congruenti con il problema

Associazioni internazionali di RO

- ▶ INFORMS (The Institute For Operations Research and Management Science) - <http://www.informs.org/> nasce nel 1995 dalla fusione di
 - ▶ ORSA (Operations Research Society of America - 1952) e
 - ▶ TIMS (The Institute of Management Sciences-1953).
- ▶ AIRO (Associazione Italiana di Ricerca Operativa) - 1961 - <http://www.airo2.org/>

Riviste internazionali di RO

- ▶
- ▶ Management Science
- ▶ Transportation Science
- ▶ Operations Research
- ▶ Operations Research Letters (Elsevier)
- ▶ European Journal of Operational Research
- ▶ ...