



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



ALMA-AI Wednesdays 15/7/2020

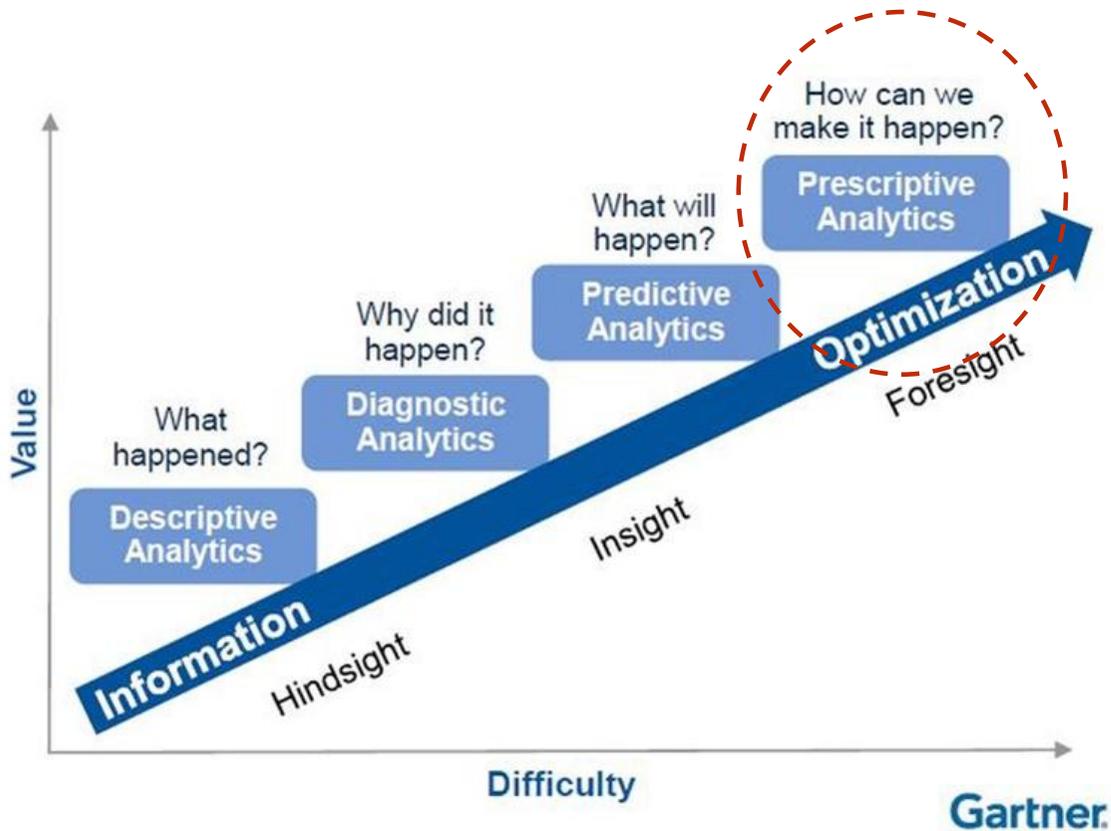
Well done AI! Indeed, optimally done!: parte 2 la prescriptive analytics

Daniele Vigo

Dipartimento di ingegneria dell'energia Elettrica e
dell'Informazione «Guglielmo Marconi»

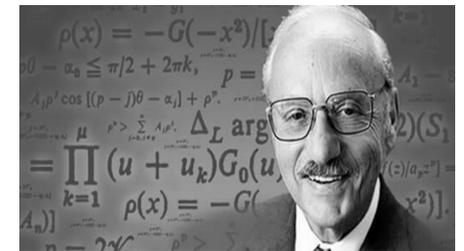
CIRI - ICT

La Prescriptive Analytics (a.k.a. Ricerca Operativa)



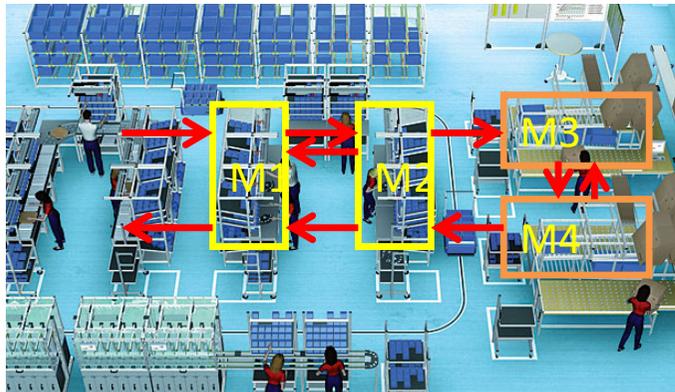
- La Prescriptive Analytics fornisce metodi per la formulazione e soluzione efficiente di **problemi decisionali complessi**
- La disciplina alla base della PA è la Ricerca Operativa (Operations Research) nata negli anni '40

G.B. Dantzig
1914-2005



Cosa è un problema decisionale ?

- Scelta, tra diverse alternative, della combinazione di un insieme di **decisioni** (=soluzione) che consente di ottenere dal sistema le **prestazioni** desiderate
- Es. Impianto produttivo con macchine multiutensile



Decisioni:

- layout impianto
- tipo di macchine
- sequenza lavorazioni

Prestazioni: max produttività, min costo, ...

Problemi decisionali e modelli di ottimizzazione

- La Ricerca Operativa formula i problemi decisionali mediante modelli logico-matematici
 - Rappresentazione astratta e precisa
 - Permette di evidenziare e sfruttare le proprietà del problema da risolvere

$$z = f(x_1, x_2, \dots)$$

- z valore delle “prestazioni” (v. **dipendente**)
- x_1, x_2, \dots variabili decisionali (v. **indipendenti: continue, discrete ...**)
- spesso (x_1, x_2, \dots) devono assumere valori entro un insieme specifico (**regione ammissibile**)
- Es. $z = \max \{f(x), x \in F\}$

Esempio 1: Problema dello Zaino (Knapsack Problem)

- Dato un insieme di n oggetti, caratterizzati da un **profitto** (p_j) ed un **peso** (w_j) ed un contenitore di **capacità** K , scegliere un sottoinsieme di oggetti di **profitto complessivo massimo** e di peso complessivo non superiore a K



- Numerose applicazioni in logistica, finanza ...
- Es.: Modella problemi di selezione degli investimenti
 - p_i profitto/affidabilità di azioni/investimenti
 - w_i costo di un lotto
 - K budget disponibile

Esempio 1: Problema dello Zaino (cont.)

- n variabili decisionali discrete (binarie)

- $x_i = 1$ se oggetto i preso
- $x_i = 0$ se oggetto i non preso

$$\begin{aligned} \max \quad & p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3 \dots \\ & w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 \dots \leq K \end{aligned}$$

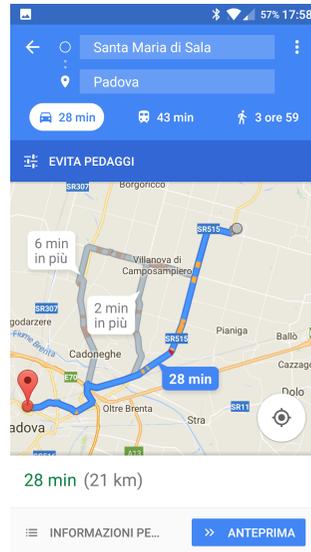
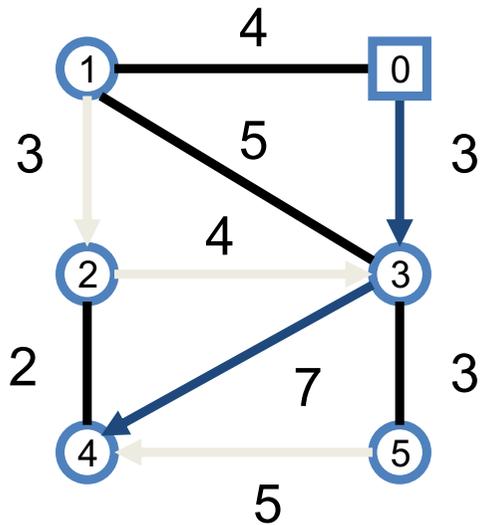
Toth & Martello



- Sembra facile ... ma le soluzioni di questo problema sono tante !
 - crescono come 2^n , se $n=10 \rightarrow 1024$, ma se $n=100 \rightarrow 1.26 \times 10^{30}$!
 - ... e' come cercare un ago in un pagliaio !
- La Ricerca Operativa mette a disposizione algoritmi efficienti per trovare l'ago in problemi KP con milioni di variabili

Esempio 2: Percorso stradale minimo (Google maps)

- Data una rete stradale ed una coppia di Nodi (origine/destinazione)
 - Nodi: Incroci, punti di interesse
 - Archi: tratti stradali (lunghezza, durata)
- Determinare il percorso di lunghezza/durata minima tra una coppia di punti

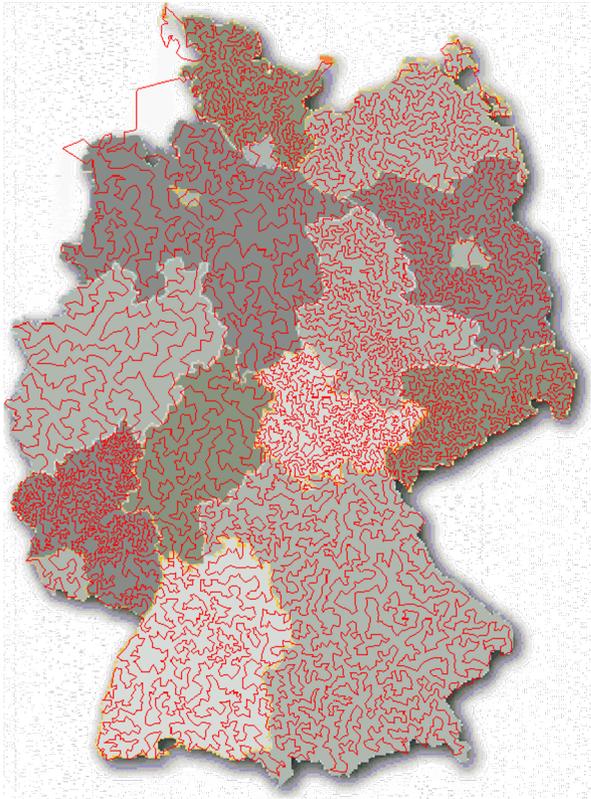


- I percorsi in una rete “densa” con n tratti possono essere fino a $n!$
- Esistono algoritmi che calcolano percorsi ottimi in reti di milioni di nodi/archi in millisecondi



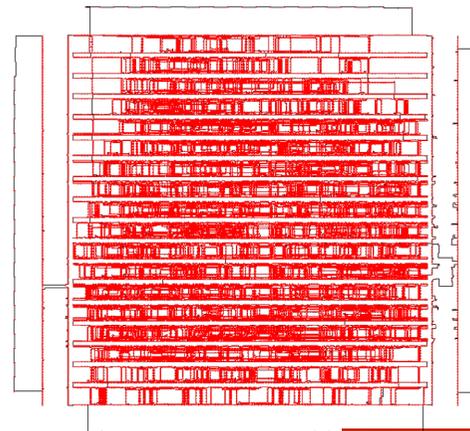
Edsger Wybe Dijkstra (1930 –2002)

Esempio 3: Problema del Commesso Viaggiatore (TSP)

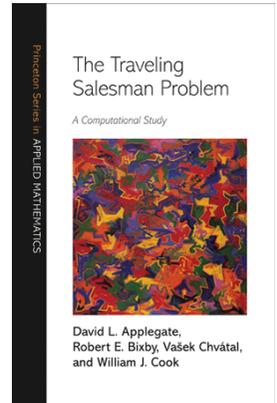


- Dato un insieme di n punti (citta', indirizzi di clienti), e le distanze/tempi di viaggio tra ciascuna coppia di queste determinare un percorso chiuso di lunghezza minima che visiti tutte le citta'

15,112 citta' tedesche, risolto per la prima volta nel 2000 impiegando 22 anni di tempo di calcolo (parallelo)



perforazione di una scheda:
85900 nodi
136 CPU years
(2006)



Bene ! ... ma dov'è la fregatura ?

- 😊 I metodi della ricerca operativa sono molto efficaci se:
 - 😊 il problema e' ben strutturato
 - 😊 i dati di ingresso (profitti, pesi, distanze, ...) sono noti e deterministici
 - 😊 la "dimensione" del problema non e' eccessiva
- 😓 ... sfortunatamente la maggior parte dei problemi di ottimizzazione di interesse pratico sono:
 - 😓 di grande dimensione, mal definiti ed alimentati da dati non deterministici (ad es. frutto di previsioni)
- 😓 tanto lavoro in ambito RO per modellare accuratamente e risolvere problemi con componenti stocastiche e grande dimensione in tempi accettabili

Predictive e Prescriptive analytics: un futuro roseo !

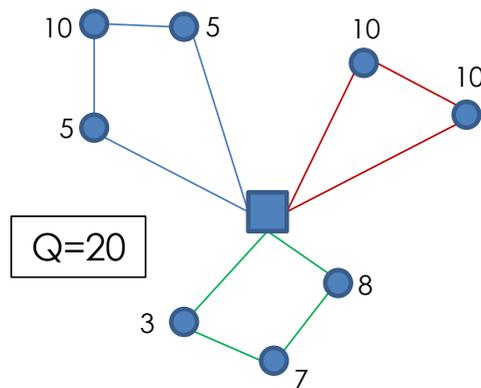
😊 L'integrazione di predictive (es. Machine Learning) e prescriptive analytics offre grandi opportunità per il progresso di entrambe le discipline

Come puo' il ML aiutare la RO ?

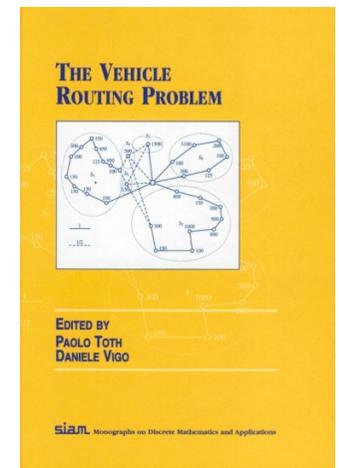
- Ovviamente fornendo dati di ingresso accurati ... ma anche:
- Identificazione automatica di vincoli di un problema dai dati storici
 - ad esempio, analizzando le soluzioni reali individuare le "regole" che devono rispettare o definire le funzioni di prestazione per valutarle
- Approssimazione/predizione (veloce) di pattern di input/output
 - ad esempio "predire" il valore della soluzione ottima di un problema soggetto a certe condizioni...
 - ... consente di alleggerire lo sforzo computazionale dei metodi RO
- Introduzione di meccanismi di apprendimento negli algoritmi
 - per selezionare le componenti più efficaci a seconda del loro comportamento
 - per "guidare" l'algoritmo osservandone il comportamento a runtime

Un esempio: il Vehicle Routing Problem

- 1 deposito, n clienti con domanda q_i
- K veicoli identici con capacita' Q
- determinare K circuiti chiusi sul deposito che rispettino la capacita' dei veicoli e minimizzino la distanza complessiva

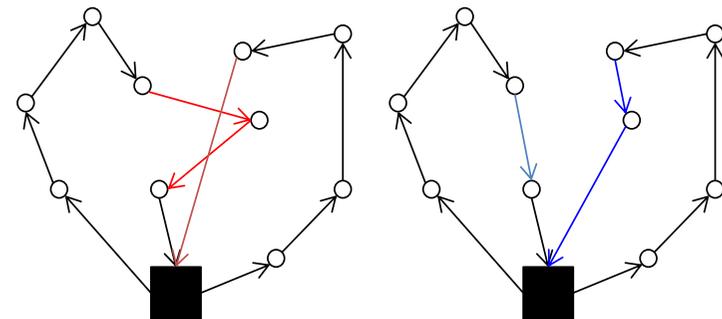


- problema fondamentale per le applicazioni logistiche
- molto difficile da risolvere
- esistono algoritmi approssimati che risolvono problemi di medio grande dimensione ma possono richiedere tempi elevati



Algoritmi di ricerca locale

- Gli algoritmi euristici disponibili in ambito RO usano (quasi) tutti meccanismi di ricerca locale per migliorare le soluzioni
- data la soluzione corrente (la migliore trovata finora):
 - valutano delle semplici modifiche (ad esempio spostare un cliente in una posizione diversa)
 - se la nuova soluzione e' migliorante questa viene "accettata" e si procede finche' la soluzione non e' piu' migliorabile
 - "forza bruta" = molto tempo !
- Esistono molti modi di modificare la soluzione (intorni):
 - Quali scegliere ?
 - in che ordine usarli ?



Qualche risultato (preliminare)

- Algoritmo basato su 12 intorni il cui ordine di esplorazione e'
 - prefissato (RO tradizionale)
 - casuale (RO tradizionale)
 - stabilito da un algoritmo di ML che e' stato preliminarmente addestrato ad individuare quale sia l'intorno piu' efficace in base alla soluzione corrente (RO+ML)

Ordinamento	tempo per raggiungere l'ottimo locale	% miglioramento	% qualita' soluzione	diff
Prefissato	27.79	-	3.70	-
Random	62.84	+126%	3.62	-2%
NN-based (Thr=0.01)	11.62	-59%	3.16	-15%

Come puo' la RO aiutare il ML?

- Parte 3 : Laura Palagi !





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Daniele Vigo

Department of Electrical, Electronic and Information Engineering «Guglielmo Marconi»
CIRI-ICT

daniele.vigo@unibo.it

www.unibo.it