
BOLLETTINO

UNIONE MATEMATICA ITALIANA

Sezione A – La Matematica nella Società e nella Cultura

GUGLIELMO GUASTALLA

Applicazioni di ricerca operativa nell'ambito del traffico aereo

Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 8, Vol. 4-A—La Matematica nella Società e nella Cultura (2001), n.3 (Fascicolo Tesi di Dottorato), p. 463–465.

Unione Matematica Italiana

[<http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_2001_8_4A_3_463_0>](http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_2001_8_4A_3_463_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/>

Applicazioni di ricerca operativa nell'ambito del traffico aereo.

GUGLIELMO GUASTALLA

La tesi presenta due applicazioni della ricerca operativa nell'ambito del sistema di traffico aereo, la prima relativa alla gestione dei flussi di traffico aereo, la seconda relativa alla pianificazione aeroportuale.

Risultato di una ricerca finalizzata (è stata svolta in stretta collaborazione con EUROCONTROL, l'agenzia europea per la sicurezza della navigazione aerea), la tesi considera problemi reali, per i quali viene proposta una modellizzazione e un possibile approccio alla soluzione.

In considerazione del fatto che il controllo del traffico aereo è un campo estremamente specialistico, un capitolo introduttivo viene dedicato alla descrizione dei vari elementi che caratterizzano il sistema del traffico aereo. Vengono fornite le nozioni di base relative alla navigazione aerea e agli strumenti che la consentono, oltre alla classificazione del traffico, degli spazi aerei, e dei vari tipi di controllo possibili. Il capitolo, pur non esaustivo, presenta molte informazioni non facilmente reperibili se non in ambito specializzato, e come tale costituisce una buona introduzione all'argomento.

Il secondo capitolo tratta il problema del *Multi Airport Ground Holding Problem*. Tale problema considera un insieme di aeroporti con capacità d'arrivo finita, cui corrisponde una domanda di utilizzo da parte dei diversi voli che si devono effettuare durante la giornata. L'elemento caratterizzante è la considerazione che uno stesso aeromobile deve effettuare diversi voli durante la giornata, rispettando un intervallo minimo al suolo (tempo di *turnaround*) prima di poter effettuare un nuovo volo. Nell'assegnare un ritardo al primo volo di una «connessione» (coppia di voli effettuata dallo stesso aeromobile), quindi, è necessario considerare che un ritardo eccessivo per il primo volo può portare ad un ritardo «ereditato» per il volo successivo, che si trova impossibilitato a partire a causa del ritardo sul primo volo e della necessità di effettuare le operazioni di *turnaround*.

La possibilità che il ritardo in un aeroporto possa dipendere dall'eccessivo ritardo assegnato in un altro aeroporto comporta inoltre l'impossibilità di scomporre il problema, risolvendolo separatamente per il singolo aeroporto, e la necessità di considerare la loro intera rete. L'obiettivo è assegnare dei tempi di atterraggio (*slot*) ai vari voli in maniera tale da minimizzare il ritardo complessivo assegnato, tenendo conto dei vincoli di capacità degli aeroporti e del tempo di *turnaround* per ogni connessione.

In letteratura si possono trovare diverse proposte di modelli di programmazione lineare a numeri interi per la soluzione del problema, tra cui il più efficiente, in termini di tempo di risoluzione (si veda [1]), è il modello di Bertsimas e Stock

(BS). Nella tesi viene presentata una nuova formulazione (ABG, Andreatta, Brunetta e Guastalla). Rispetto al modello BS, il modello ABG comporta un leggero aumento nel numero di variabili compensato da una sostanziale diminuzione nel numero di vincoli utilizzati.

I due modelli vengono confrontati su 39 istanze, già più volte utilizzate in letteratura. Entrambi costituiscono delle buone formulazioni, in quanto risolvendo il problema tralasciando i vincoli di interezza il numero di variabili frazionarie nella soluzione ottima è molto basso. Il modello ABG risulta comunque essere, in generale, più veloce di quello BS (in media circa quattro volte).

Viene poi proposto un nuovo approccio per la soluzione del problema, basato sull'integrazione del modello ABG con un'euristica basata su priorità dinamiche ([2]). L'euristica assegna i voli agli *slot* in base ad una priorità il cui valore dipende dalla presenza di un volo in corrispondenza e dal ritardo accumulato fino a quel momento (la tesi fornisce diversi esempi di regole di priorità, a seconda dell'importanza relativa che si vuole dare ai due aspetti). Fondamentalmente si tratta quindi di un'euristica di tipo *greedy*, cui si aggiunge un'ottimizzazione locale basata sull'uso di intervalli — anch'essi dinamici — di assegnazioni ammissibili, e sullo scambio tra voli con ritardo già assegnato.

Il nuovo approccio si basa sulla considerazione che l'euristica:

- è estremamente veloce;
- fornisce soluzioni in cui i vincoli relativi al tempo di *turnaround*, ovvero quelli più «difficili», sono rispettati;
- ha fornito nelle istanze di prova risultati non molto distanti dal valore ottimo (in media 1.5%, al massimo 7.05%).

Per questo il problema viene risolto utilizzando l'euristica con diverse regole di priorità, e la migliore soluzione ammissibile viene poi utilizzata come soluzione di partenza dell'algoritmo del simplesso nel modello di programmazione lineare a numeri interi.

Questo tipo di approccio risulta essere molto efficiente, come dimostrato sia sulle istanze di cui sopra, sia su una nuova serie di istanze con caratteristiche molto simili a quelle reali. Infatti queste istanze sono state ottenute considerando i voli programmati tra i 23 aeroporti più congestionati degli Stati Uniti. Le sei istanze comprendono più di 20000 voli con percentuali di connessione (ovvero di voli per i quali si deve considerare il tempo di *turnaround*) tra il 67% e il 77%. Il modello risultante comporta più di 100000 variabili, ed è stato risolto in meno di venti minuti di CPU (SUN/Sparc 20/71 con 128 Mb di RAM).

Il capitolo successivo presenta un'applicazione nell'ambito della pianificazione aeroportuale. L'aeroporto costituisce il punto di interfaccia tra due importanti flussi all'interno del sistema di traffico aereo: quello dei passeggeri (gestito nella parte «terra» dell'aeroporto) e quello degli aeromobili (gestito nella parte «aria» dell'aeroporto). I modelli e gli strumenti finora disponibili tendono

a considerare di volta in volta l'una o l'altra parte dell'aeroporto. Così facendo, però, vengono ignorate le importanti interrelazioni tra le due componenti.

La tesi presenta due modelli di supporto alle decisioni, MACAD per la parte terra e SLAM per la parte aria ([4]). I due modelli, pur potendo lavorare in maniera indipendente, sono costruiti per poter lavorare su una base di dati comune, in modo da ovviare alla mancanza appena descritta. Anche in questo caso viene fornito un esempio di applicazione su dati reali, relativi a una giornata presso l'aeroporto di Linate. Risulta evidente, analizzando i risultati, il miglioramento in termini di capacità previsiva che possono essere ottenuti utilizzando la base di dati comune.

Un ultimo capitolo della tesi propone alcuni problemi aperti nella gestione e controllo del traffico aereo che possono essere di interesse per eventuali applicazioni di Ricerca Operativa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANDREATTA G. and BRUNETTA L., *Multi-airport ground holding problem: A computational evaluation of exact algorithms*, Operations Research, **46(1)** (1998), 57-64.
- [2] ANDREATTA G., BRUNETTA L. and GUASTALLA G., *Multi-airport ground holding problem: a heuristic approach based on priority rules*, In L. Bianco, P. Dell'Olmo e A. Odoni, eds, *Modeling and simulation in Air Traffic Management* (1997), 71-89 .
- [3] ANDREATTA G., BRUNETTA L. and GUASTALLA G., *From ground holding to free flight: a new exact algorithm*, Transportation Science, **34(4)** (2000), 394-401.
- [4] ANDREATTA G., BRUNETTA L. and RIGHI L., *An operations research model for the evaluation of an airport terminal: SLAM*, Journal of Air Transport Management, **5** (1999), 161-175.
- [5] VRANAS P. B., BERTSIMAS D. J. and ODONI A. R., *The multi-airport ground holding problem in air traffic control*, Operations Research, **42** (1994), 249-261.

EUROCONTROL Experimental Centre, Centre de Bois de Bordes, B.P. 15
F-91222 Brétigny sur Orge CEDEX, Francia
e-mail: willi@alum.mit.edu

Dottorato in Matematica computazionale

(sede amministrativa: Università degli Studi di Padova) - Ciclo XII
Direttore di ricerca: Prof. Giovanni Andreatta, Università di Padova