



**Compagnie aeree low cost, competitività  
dei sistemi aeroportuali e ricadute sui territori locali\***

Fabio Carlucci<sup>1</sup>, Andrea Cirà<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Salerno

<sup>2</sup>Università degli Studi di Messina

---

### Abstract

The aim of this work is to analyze the role of air transport for the economic development of peripheral areas.

Liberalization and deregulation processes have involved all aspects of the air transport activity, producing significant change to the supply side of the air transport market. Airlines have tried to expand their market share, efficiency, and above all, they have tried to specialise their activity focusing on specific demand targets. As a consequence, even airports have had to change their management activity, increasingly modifying their strategy to attract new carriers and plan new goals, such as, for example, increasing accessibility. As a consequence even the airport have had to change the management activity, modifying the strategy to attract new carriers.

This paper is focusing on a dynamical approach for analyzing airport choice factors for airlines and for airport management. Its main advantage is the ability to linearly depict the several relationships occurring amongst the different subjects involved, with increased advantages as opposite to more traditional approaches, like the “Costs-Benefits” model, or the “Multi-criteria” techniques.

### Sommario

Il tradizionale modello di gestione delle attività terminali del trasporto aereo, incentrato sul rapporto compagnia aerea-aeroporto, sta subendo un graduale incremento di complessità a seguito delle innovazioni organizzative che, già da diversi anni, caratterizzano il comparto delle attività di viaggio. L'instabilità tipica dell'assetto industriale dell'aviazione civile incide anch'essa sulla complessità sistemica del “momento infrastrutturale”, generando un'evidente asimmetria tra gli operatori in termini di potere contrattuale.

---

\* Pur essendo frutto di uno studio condotto congiuntamente, il lavoro si suddivide nei paragrafi 2, 3 e 6, da attribuire a Fabio Carlucci e nei paragrafi 1, 4 e 5 da attribuire a Andrea Cirà. Corresponding Author: Fabio Carlucci (fcarlucci@unisa.it).

Nel settore dei collegamenti che fanno capo agli scali minori, segmento di mercato particolarmente instabile, i gestori aeroportuali, il management delle compagnie aeree e, non da ultimo, i *policy makers* alle diverse scale si trovano ad affrontare scelte in un ambiente particolarmente complesso.

In tale contesto, nonostante siano stati proposti diversi modelli per supportare i processi di scelta, ancora oggi vi è un'evidente incertezza riguardo la metodologia che garantisce le migliori performance.

Il presente lavoro, dopo una descrizione delle trasformazioni intervenute nel mercato del trasporto aereo, affronta la tematica del circuito “vettori di nuova generazione – aeroporti minori – aree geografiche periferiche”, individuando in questo ambito una notevole potenzialità per i cosiddetti “modelli dinamici”, particolarmente inclini a supportare i decisori nei processi di scelta in ambienti decisamente complessi e instabili.

*Keywords: trasporto aereo, territorio, system dynamics*

## **1. Premessa**

I dibattiti concernenti le aree geografiche considerate marginali da un punto di vista economico e sociale sottolineano la rilevanza delle infrastrutture per lo sviluppo locale, anche se i numerosi studi empirici sull'argomento non hanno chiarito nei dettagli il funzionamento del nesso causale tra infrastrutture e sviluppo economico.

Nel settore dei trasporti, i terminali aeroportuali possono contribuire alla riduzione dei divari economici interregionali poiché rappresentano un importante vantaggio competitivo per la promozione del territorio.

La realizzazione di un aeroporto genera, per l'area di gravitazione dell'infrastruttura, una serie di benefici derivanti dal miglioramento dell'accessibilità aerea e dalla diminuzione del costo generalizzato del trasporto. Queste considerazioni, unitamente al notevole sviluppo che il trasporto aereo ha fatto registrare negli ultimi tempi, fanno emergere le potenzialità degli investimenti aeroportuali nell'ambito delle politiche tese alla pianificazione e al miglioramento delle caratteristiche del tessuto economico delle aree meno sviluppate. Tuttavia le evoluzioni intervenute nel mercato del trasporto aereo hanno modificato le caratteristiche dell'offerta, la cui flessibilità ha agito in senso aumentativo sul rischio dell'investimento nel comparto aeroportuale. In altri termini le peculiari barriere all'ingresso e all'uscita dal mercato che hanno caratterizzato lo sviluppo dell'Aviazione civile fino agli anni 90, oggi risultano facilmente sormontabili, circostanza che consente ai vettori di modificare continuamente e spasmodicamente l'assetto della rete, allo scopo di adattare il *network* dei collegamenti alle esigenze che, di volta in volta, emergono dalla contingenza dei mercati. Questa volatilità fa lievitare il rischio di impresa nel comparto

aeroportuale, in quanto la realizzazione di nuovi impianti o l'ampliamento di quelli esistenti potrebbero comportare un eccesso di capacità se lo scalo viene marginalizzato rispetto alle correnti di traffico ipotizzate dalle analisi economiche condotte a supporto dell'investimento.

## **2. Aeroporti e impatto economico-territoriale**

La realizzazione di un aeroporto genera, per l'area di gravitazione dell'infrastruttura, una serie di benefici derivanti dal miglioramento dell'accessibilità aerea e dalla diminuzione del costo generalizzato del trasporto. Tuttavia va tenuto presente che, se l'aeroporto è un'importante risorsa del territorio, il territorio stesso deve offrire opportunità di sviluppo del traffico aereo, per rendere economicamente sostenibile l'esercizio delle attività aeroportuali.

Maggiore è la rilevanza dell'infrastruttura, più ampi saranno gli effetti di breve e di lungo periodo sul sistema economico regionale e, in particolare, sull'occupazione, sul reddito e sulle entrate fiscali; tali benefici, diretti, indiretti o indotti, possono derivare da attività che operano all'interno dell'aeroporto (*on airport*) o esternamente ai suoi confini (*off airport*). In particolare, i benefici diretti derivano dall'impatto economico generato dalle attività direttamente attinenti al trasporto aereo di merci e persone, quali la fornitura di servizi ai passeggeri e alle merci erogati dalle società di gestione, dai vettori, dagli operatori di handling o da altri soggetti che operano nel campo dell'aviazione. I benefici indiretti sono generati dalle attività che, anche se situate all'esterno degli scali, sono a servizio degli utilizzatori finali degli aeroporti, quali agenzie di viaggio, tour operator, esercizi commerciali. L'impatto indotto costituisce l'effetto economico generato dalle attività che si sono sviluppate grazie alla presenza dell'infrastruttura e che risultano legate, direttamente o indirettamente, ai servizi di trasporto aereo. In altri termini sono i benefici generati dagli effetti moltiplicativi degli impatti diretti e indiretti.

Inoltre gli aeroporti agiscono anche da fattori di attrazione per le industrie "ad alta tecnologia", la cui forza lavoro necessita di frequenti spostamenti a lungo raggio, e per le imprese che operano nel settore della ricettività turistica e della logistica distributiva, settori che contribuiscono in notevole misura alla formazione del reddito e allo sviluppo economico locale.

A fronte di questi vantaggi, il traffico aereo e quello di superficie che si generano a seguito della realizzazione di uno scalo comportano esternalità negative di carattere ambientale derivanti dall'inquinamento acustico e da gas di scarico dei velivoli e del traffico terrestre attratto dall'infrastruttura, anche se i progressi ottenuti nel campo della motoristica, unitamente alle rigide limitazioni di carattere normativo, hanno contribuito negli ultimi anni a ridurre tale problematica.

Nel settore dei trasporti gli effetti economici generati dalle infrastrutture terminali tendono ad estendersi ben al di là della porzione del territorio all'interno del quale sono realizzate, circostanza

che rende più arduo il compito di stabilire se si è in presenza di un'area in cui la dotazione di infrastrutture si attesta su un livello minimo efficiente. In tali casi, generalmente, si procede alla stima del bacino di utenza per individuare l'area di gravitazione dell'infrastruttura, cioè l'estensione dello spazio in cui la cui mobilità è favorita dall'esistenza dell'infrastruttura stessa.

Nel comparto aereo, la forza con la quale il terminale riesce ad attrarre i passeggeri, cioè la capacità di superare il vincolo imposto dalla distanza che separa il viaggiatore dall'infrastruttura e che agisce quale fattore di impedenza, dipende da elementi esogeni ed endogeni. Tra gli elementi esogeni, in estrema sintesi, prevale la posizione e l'accessibilità dell'aeroporto, intesa come grado di efficienza delle modalità che interconnettono l'infrastruttura alla rete dei trasporti di superficie.

Concentrando l'attenzione sui fattori endogeni, in analogia con i principi che sintetizzano la forza gravitazionale nell'ambito delle analisi concernenti l'organizzazione delle attività produttive, dei servizi e della popolazione, si può dire che gli elementi da cui dipende l'ampiezza dell'area territoriale servita dagli aeroporti, possono essere strutturali, cioè legati alle caratteristiche fisiche degli impianti, e quantitativi dipendenti cioè dal volume di traffico servito. È ovvio che la bontà della stima dipende anche dalla scelta degli indicatori strutturali.

### **3. Le evoluzioni intervenute nel settore aeroportuale: i low cost carrier**

La redditività della gestione aeroportuale dipende dai ricavi aeronautici e dai proventi derivanti da attività non aeronautiche. I servizi erogati per le compagnie aeree danno luogo ai ricavi aeronautici, laddove i passeggeri generano proventi extraaeronautici, sostanzialmente di carattere commerciale. In Europa la percentuale dei ricavi commerciali sul totale è cresciuta negli ultimi anni, raggiungendo un valore prossimo al 45%; in alcuni casi che generalmente riguardano aeroporti di dimensioni notevoli, si toccano valori vicini all'80%. E ciò grazie alla tendenza oramai prevalente di concentrare gli sforzi nel settore delle attività commerciali, per conseguire un aumento della redditività della gestione nel complesso. Inoltre, l'aumento del tempo di permanenza dei passeggeri in aeroporto, causato dall'inasprimento dei controlli di sicurezza a seguito degli eventi dell'11 settembre, ha comportato un incremento delle spese sostenute per gli acquisti presso i locali commerciali situati nelle aerostazioni.

Tale tendenza ha trasformato il tradizionale modello di gestione aeroportuale, basato sul rapporto compagnia aerea aeroporto, in un modello più complesso in cui i passeggeri e i gestori delle attività commerciali svolgono un ruolo non più secondario.

In questo scenario vanno considerate anche le modificazioni introdotte dallo sviluppo, nell'aviazione civile, del fenomeno *low cost* che ha attivato una sorta di meccanismo concorrenziale, non solo nel campo delle attività di viaggio, ma anche nel segmento delle attività

terminali, che si è tradotto in una riduzione dei prezzi dei servizi forniti dai gestori aeroportuali, interessati ad attrarre nuovi flussi di traffico.

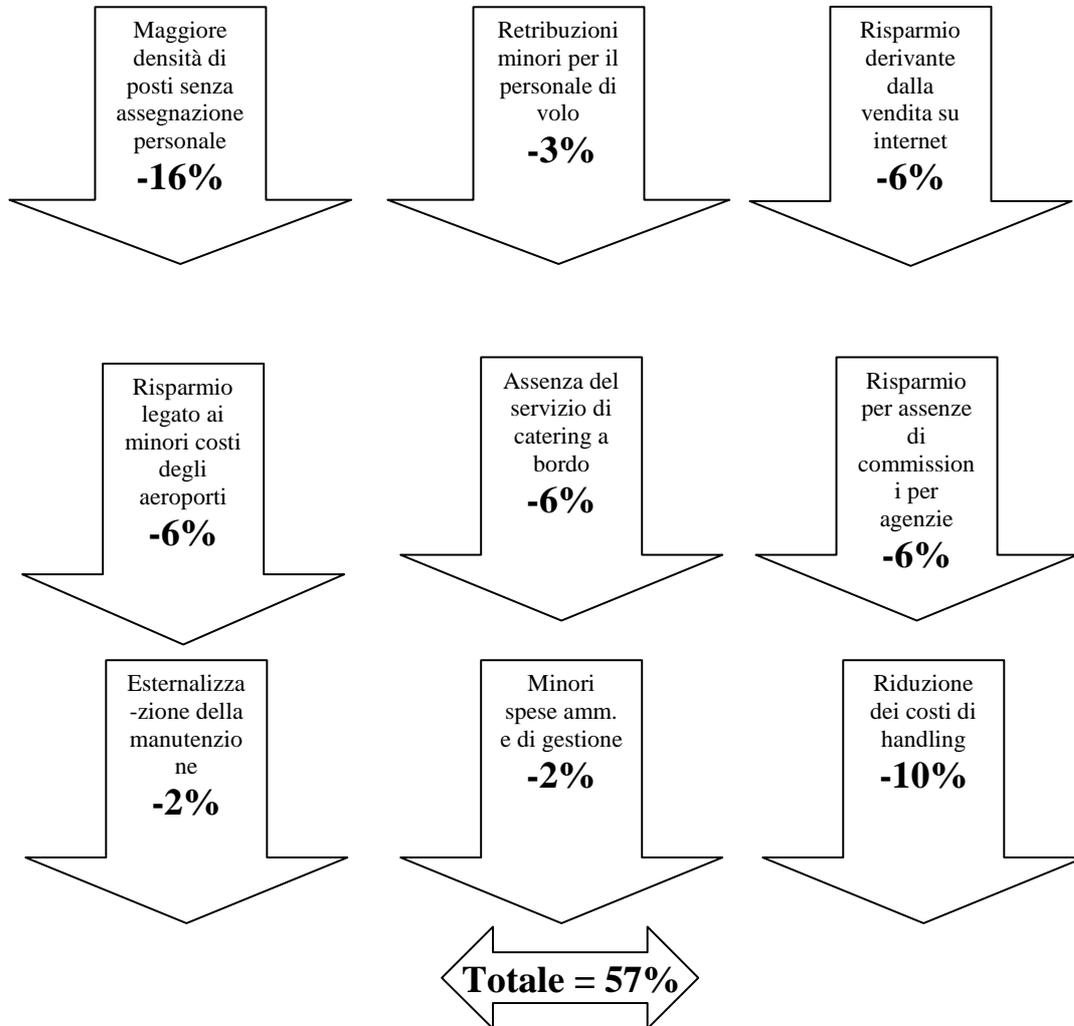
Nell'Unione Europea, la rivalutazione dell'economia di mercato nel segmento aeroportuale consegue alla liberalizzazione introdotta dal nuovo impianto normativo (Direttiva 96/67/CE relativa al libero accesso al mercato dei servizi di assistenza a terra negli aeroporti della Comunità), ma deriva anche da non trascurabili fattori eminentemente economici. Concentrando l'attenzione su questi ultimi, può essere utile un'ulteriore lettura dell'industria del trasporto aereo in chiave di "contendibilità" del mercato. A tal proposito è opportuno sottolineare che dopo alcuni anni dall'entrata in vigore del nuovo assetto normativo del trasporto aereo statunitense, le convinzioni fondate sull'analisi teorica dei mercati contendibili iniziarono a vacillare [Tucci, 1998]; e ciò sia a causa dei risultati empirici, consistenti essenzialmente in un malessere di natura finanziaria che condizionò alcune compagnie incrementando la concentrazione dell'offerta, sia in conseguenza delle rivisitazioni scientifiche della stessa teoria che misero in luce l'inconsistenza di determinate ipotesi basilari.

La scarsa robustezza della teoria sembrava derivare dal mancato verificarsi, per il mercato del trasporto aereo, di tre presupposti fondamentali da cui dipende la "contendibilità" della configurazione industriale: la libertà di entrata nel mercato, la libertà di uscita e la rigidità dei prezzi.

L'odierna realtà del settore dell'Aviazione civile, al contrario, mostra con evidenza che le barriere all'ingresso e all'uscita dal mercato sono facilmente sormontabili grazie alle innovazioni intervenute relativamente alle formule organizzative adottate dai vettori, in particolare da quelli di ultima generazione (*low cost, second brand*).

In altri termini si è assistito ad una riorganizzazione della fase distributiva dei servizi aerei che ha ridotto la potenzialità dei rendimenti crescenti della funzione di produzione e delle strategie concorrenziali utilizzate dagli *incumbent* per impedire le incursioni da parte delle imprese esterne al mercato. I programmi di fidelizzazione della clientela o l'utilizzo dei *Computer Reservation Systems* (CRS) risultano palesemente inefficienti dal punto di vista strategico rispetto alla formula *low cost*, e ciò anche grazie alla tendenza alla disintermediazione dei canali distributivi dei servizi, sempre più frequentemente acquistati direttamente dai passeggeri tramite internet. Il canale di vendita diretto, inoltre, poiché garantisce un costante monitoraggio delle vendite, rende particolarmente celeri gli adeguamenti tariffari alle esigenze che provengono dal mercato, riducendo la rigidità dei prezzi.

La filosofia *low cost*, per definizione, si fonda su una riduzione dei prezzi conseguibile mediante un serrato controllo dei costi che, allo stato attuale per il mercato europeo, tendenzialmente è così stimabile:



Fonte: European Cockpit Association

Tuttavia va notato che, oltre al fattore prezzo, vi sono anche altri attributi dell'offerta di servizi *low cost* che hanno contribuito al successo dei vettori impegnati in questo segmento di mercato. Si pensi, ad esempio, ai tempi di attesa dei passeggeri in arrivo e in partenza che, per i voli *low cost*, risultano mediamente inferiori rispetto ai servizi offerti dai *full service carriers*, e ciò grazie al livello di traffico più contenuto che si registra negli scali sui quali, generalmente, volano le compagnie *low cost*. Anche le distanze minori da coprire all'interno dei terminali e la riduzione dei tempi e dei rischi delle operazioni di consegna dei bagagli possono costituire ulteriori elementi che contribuiscono a rendere competitivi questa tipologia di servizi.

Tali innovazioni hanno consentito ai vettori *low cost*, una massiccia presenza in diversi aeroporti secondari, per i quali costituiscono la principale fonte di traffico, generando un'evidente asimmetria a vantaggio delle compagnie aeree in termini di potere contrattuale [Barbot C., 2006]. Pertanto le compagnie *low cost*, essendo considerate un importante fattore di sviluppo per gli aeroporti minori, hanno spinto i gestori degli scali periferici a stringere accordi commerciali particolarmente favorevoli per i vettori in termini di tariffe e modalità di erogazione dei servizi aeroportuali ma che, a ben vedere, non alterano la redditività della gestione aeroportuale. Difatti la presenza di una compagnia *low cost* in un aeroporto, pur se garantisce un ritorno relativamente contenuto sul fronte delle attività aeronautiche, fa sicuramente lievitare i ricavi commerciali in quanto, per definizione, con la filosofia *low cost* vi è un trasferimento a terra della totalità di servizi accessori, erogati in volo dai vettori tradizionali. Come è ovvio tali pratiche, per gli aeroporti di proprietà pubblica, costituiscono una sovvenzione dello Stato che falsifica il libero gioco delle forze concorrenziali.

Queste considerazioni fanno emergere quanto sia determinante per il gestore dell'aeroporto, in particolare nella fase di pianificazione degli investimenti, conoscere nei dettagli le esigenze dei vettori per ridurre i rischi correlati alla volatilità del mercato derivante dalla quasi totale assenza di barriere all'ingresso e all'uscita.

L'odierna realtà fa ipotizzare uno scenario nel quale i maggiori siti aeroportuali intercontinentali adotteranno strategie gestionali sempre più mirate ad adeguare l'offerta di servizi alle esigenze dei principali vettori internazionali, laddove gli aeroporti regionali tenderanno a consolidare, anche attraverso partnership commerciali, i rapporti con i vettori *low cost*. Si assisterà, pertanto, ad una rottura del tradizionale assetto monopolistico del mercato dei servizi aeroportuali derivante, in ultima analisi, dall'innovazione organizzativa introdotta dal fenomeno *low cost*. In altri termini le compagnie aeree *low cost* hanno modificato la dinamica dell'industria mediante una innovazione di processo drastica che, pur rafforzando l'integrazione "compagnia aerea-gestore aeroportuale", ha ridotto il potere di mercato tipico delle imprese che gestiscono gli impianti fissi della mobilità.

#### **4. I processi di scelta nel trasporto aereo: le metodologie utilizzabili**

Le scelte degli operatori nel settore del trasporto aereo sono caratterizzate da un elevato livello di incertezza. Gran parte della letteratura empirica sull'argomento (Holtz-Eakin, 1994; Mas et al., 1996; Daniel et al., 2004; Bowe et al. 2004) si basa su previsioni di tipo *Steady state*, cioè su un ipotetico stato stazionario della realtà che, per sua natura, non riesce a rispecchiare il reale divenire degli eventi. In altre parole, nello stato stazionario non si tiene conto del fatto che ogni azione economica non può mai essere estrapolata dal contesto nella quale essa viene svolta. Cosicché

ogniquale volta un operatore economico stabilisce una strategia non sempre è facile tenere conto di tutte le interazioni che si hanno in un contesto molto complesso (De Greene, 1993; Bardach, 2000). Inoltre, man mano che l'impegno economico-finanziario diventa più rilevante, è sempre più difficile prevedere in anticipo i risultati delle diverse scelte.

Le tradizionali tecniche di valutazione della convenienza economica ex-ante basate su analisi costi benefici o su analisi multicriteriali mal si prestano ad interpretare e calcolare tutti gli effetti di retroazione che si producono all'interno del sistema in cui si opera.

Ad esempio, in letteratura, frequentemente sono riportati esperimenti mirati a prevedere i risultati di investimenti in infrastrutture di trasporto in genere ed in infrastrutture del trasporto aereo in particolare. Purtroppo sono pochi i lavori che esaminano la effettiva congruenza fra quanto ipotizzato con modelli di previsione più o meno accurati e quanto invece si è effettivamente verificato.

Alcuni lavori hanno tentato di rilevare gli effetti ex-post di investimenti pubblici in infrastrutture, attraverso l'impiego di modelli definiti di tipo *difference-indifference* che si basano sull'individuazione di talune variabili *proxy* degli effetti dell'investimento. Osservando tali variabili *ex ante* e *ex post* è possibile formulare un giudizio sull'efficacia del capitale investito, ma solo relativamente alle variabili che vengono selezionate in quanto ritenute socialmente rilevanti dal decisore pubblico o dal valutatore, senza la possibilità di indagare sulle eventuali cause di fallimento delle valutazioni effettuate a priori<sup>1</sup>.

A nostro avviso nell'ambito dei processi di scelta degli attori coinvolti nel comparto aereo appaiono degne di nota le analisi sviluppate attraverso l'utilizzo di modelli dinamici, comunemente definiti modelli di *system dynamics*.

I modelli di *system dynamics* sono particolarmente adatti all'analisi di processi economici e industriali. Tali modelli, di frequente utilizzati nel campo dell'analisi dell'attività manageriale delle imprese, hanno obiettivi applicativi in prevalenza di carattere aziendale. Tuttavia, di recente, tale tecnica si sta estendendo anche al campo delle analisi economiche riferite agli investimenti in infrastrutture di trasporto (Ford et al., 2004; Kim Hin et al 2008).

La *System Dynamics* è una tecnica orientata all'analisi dei sistemi complessi, cioè di sistemi caratterizzati dal dinamico interagire tra numerosi elementi, la cui configurazione appare nel tempo poco prevedibile. La caratteristica principale dei sistemi complessi è quella di presentare relazioni causa effetto non lineari, poiché in essi sono presenti meccanismi tipici del *feedback* (Forrester 1969).

---

<sup>1</sup> Per una trattazione più ampia dell'argomento si veda Susan A. e Imbens G. (2006).

In altri termini, i vantaggi derivanti dall'utilizzo di tale tecnica discendono dalla possibilità di leggere un qualunque sistema oggetto di studio in termini di interrelazioni esistenti fra gli operatori, anziché in termini di catene lineari, come accade quando si applicano metodologie di tipo tradizionale quali, ad esempio, analisi costi-benefici o analisi multicriteriali. Inoltre, la *system dynamics* permette di rappresentare processi in continua evoluzione piuttosto che immagini statiche come quelle prodotte ancora una volta dalle analisi tradizionali. In particolare, la *system dynamics* si basa sull'utilizzo di sistemi di equazioni integrali rappresentati sotto forma di diagrammi di causa-effetto circolari. Tali modelli sono poi elaborati utilizzando specifici software di simulazione che, attraverso l'implementazione di date funzioni, studiano come un sistema si evolve nel tempo.

L'analisi di *system dynamics* ha come scopo primario la costruzione di scenari, intesi come strumento per supportare l'apprendimento e l'efficace formulazione di decisioni, in particolar modo quando si opera in condizioni di rapidi cambiamenti, in cui le discontinuità ambientali rendono inutili o illusorie le previsioni basate sull'estrapolazione di dati storici. Essa è ritenuta un valido strumento di supporto al processo decisionale riguardante attività di programmazione e di pianificazione per i seguenti motivi:

- la variabile tempo è insita nel sistema, che ragiona su intervalli di tempo;
- è possibile trattare tutte le variabili qualitative rilevanti per il successo del modello decisionale, oltre, ovviamente, a quelle quantitative;
- offre alta flessibilità a livello di dettaglio nel disegno del modello da esaminare.

Al fine di comprendere meglio sia le problematiche reali, sia il contesto nel quale si svilupperanno gli effetti delle scelte, è possibile inoltre, attraverso l'utilizzo di tale modello, predefinire il livello di dettaglio dell'analisi da effettuare.

L'utilità dell'uso di un modello *system dynamics* risiede nel fatto che esso costituisce una sorta di laboratorio dove eseguire esperimenti per comprendere il comportamento di un sistema. Questi esperimenti sono fondamentali per anticipare possibili risposte del sistema e sviluppare nuovi interventi per governare al meglio le realtà complesse. La simulazione permette di operare in un ambiente protetto, con tempi e costi ridotti.

## **5. Descrizione del modello di *system dynamics***

Come già accennato in precedenza, la costruzione di un modello di simulazione parte dalla rappresentazione di un diagramma causale del sistema, continua con la formulazione del diagramma di flusso, per poi passare alla costruzione delle equazioni del modello che serviranno poi ad implementare il modello informatico di simulazione del sistema.

Attualmente sono disponibili software concepiti specificamente per effettuare simulazioni di sistemi dinamici. L'utilizzo di questi pacchetti informatici consente di semplificare la descrizione del sistema, riducendo, al tempo stesso, i tempi e le fasi di costruzione delle equazioni del modello.

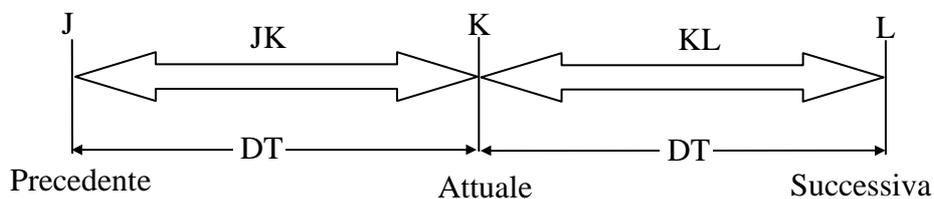
In questo lavoro è stato impiegato il software Powersim, particolarmente agevole nell'utilizzo, in quanto non richiede particolari abilità informatiche o capacità di trattazione matematica dei problemi.

Il Powersim, al pari degli altri software di simulazione dinamica, utilizza equazioni derivate dai concetti di base della struttura dei sistemi da esaminare. Tali equazioni possono essere di livello, di flusso o ausiliarie. I diversi tipi di equazioni corrispondono a diversi tipi di variabili utilizzate nel modello che assumeranno la stessa denominazione.

Le equazioni utilizzate per descrivere il sistema, generalmente, non rimangono inalterate nel tempo. Al contrario spesso subiscono modificazioni o integrazioni, a seconda della necessità. Il software permette di procedere al calcolo dei risultati del comportamento dinamico di un sistema nei diversi periodi temporali. Questo risultato viene conseguito grazie ad un algoritmo di calcolo standardizzato che utilizza dati di input forniti dall'operatore in base ad una terminologia idonea a definire il procedimento di calcolo. Inoltre ciascun dato di input (o variabile) deve indicare lo specifico momento di tempo al quale si riferisce.

In genere i periodi di tempo considerati sono tre (Schema 1): il momento a cui si riferiscono i calcoli in corso di esecuzione K; il momento precedente a quello in cui il calcolo avviene J, il momento successivo a quello di effettuazione del calcolo L, laddove DT è la lunghezza dell'intervallo di tempo tra due computi successivi. Tutti i calcoli sono circoscritti quindi al tempo J, all'intervallo JK tra J e K, al tempo K e all'intervallo KL tra K ed L.

**Schema 1**



#### 4.1 Equazioni di livello

Le equazioni di livello rappresentano l'accumulazione delle differenze nette tra flussi che aumentano e flussi che diminuiscono nell'arco di tempo DT. Le equazioni di livello assumeranno la seguente forma funzionale:

$$(1) \text{Liv}_K = \text{Liv}_J + (DT) \cdot (\text{Fin}_{JK} - \text{Fout}_{JK})$$

Tale forma funzionale indica che il valore di una data variabile di livello al tempo presente (K) è uguale al suo valore calcolato al tempo precedente (J) più la differenza netta dei flussi registrati nell'intervallo (JK). Tale differenza netta di flussi deve essere moltiplicata per la lunghezza dell'intervallo di tempo tra J e K (DT).

Dall'equazione precedente si nota che le variabili di livello sono indipendenti le une dalle altre. Inoltre, ad un'equazione di livello può essere aggiunto o sottratto un numero indefinito di variabili di flusso.

In sintesi, tenuto conto di quanto sopra detto, una variabile di livello non è altro che l'accumulazione di differenze nette di variabili di flusso in entrata e tassi in uscita. È quindi possibile riscrivere l'equazione di livello sotto forma di un'equazione differenziale di primo grado:

$$(2) \text{Liv}(t) = \text{Liv}(0) + \int_0^t (\text{Fin} - \text{Fout})dt$$

#### 4.2 Equazioni di flusso

Le equazioni di flusso definiscono il modo in cui variano i flussi all'interno di un sistema. Gli input delle equazioni di flusso sono i livelli, le costanti e le variabili ausiliarie del sistema, mentre gli output rappresentano le variazioni da e fra i livelli di un flusso.

Le equazioni di flusso sono calcolate sulla base dei valori delle costanti e delle informazioni provenienti dai livelli e dalle variabili ausiliarie al tempo K e forniscono il valore dei flussi per il successivo intervallo di tempo KL. Possiamo quindi rappresentare una funzione di flusso come segue:

$$(3) F_{KL} = f(\text{Liv}_K, \text{Cost}, \text{Aus}_K)$$

La più semplice equazione di flusso è costituita da un tasso di flusso costante ad es.:  $F_{KL}=30$ .

Una seconda possibilità è rappresentata da un'equazione che mostra un flusso come funzione del prodotto di un livello e di una costante rappresentativa di un fattore di crescita  $\Delta$ , ad es.:  $F_{KL}=\text{Liv}_K*\Delta$ .

Una terza forma funzionale di flusso potrebbe essere quella di una variabile di livello divisa per il suo tempo medio di vita  $v$ , ossia:  $F_{KL}=\text{Liv}_K/v$ .

Chiaramente la complessità delle equazioni di flusso dipende dal fenomeno che si intende rappresentare: per tale ragione non è possibile effettuare un'elencazione esaustiva di tali forme funzionali.

### 4.3 Equazioni ausiliarie

Nella costruzione delle equazioni di un modello molte volte è possibile accrescere la loro chiarezza e significatività scomponendole in altre equazioni; ciò è vero anche per le equazioni di flusso. In questo caso le sub equazioni che risultano dalla scomposizione dell'equazione principale prendono il nome di equazioni ausiliarie. Inoltre, a differenza dei livelli, le variabili ausiliarie possono ricevere informazioni da altre variabili ausiliarie, dai livelli e dalle costanti.

### 4.4 Circuiti di feedback positivi e negativi

I circuiti di feedback sono sistemi di retroazione che influenzano le variabili di un circuito sulla base del comportamento passato. Essi hanno una struttura, a circuito chiuso, che recupera i risultati delle azioni passate e li utilizza per indirizzare le azioni future.

I circuiti di feedback possono essere positivi o negativi. Essi sono negativi quando una data variabile influenza negativamente le variabili alle quali essa è collegata. Al contrario un circuito di feedback è positivo quando la retroazione positiva genera, invece, dei processi di crescita all'interno dei quali l'azione produce un risultato che induce, a sua volta, un'azione ancora maggiore. Infatti, il processo d'integrazione sopra descritto per i circuiti di feedback positivi e negativi genera un andamento esponenziale nei circuiti di primo grado (con una sola variabile di livello).

Consideriamo un circuito di feedback positivo descritto dalla seguente equazione:

$$(4) F_{JK} = \frac{Liv_K - Liv_J}{DT} \quad Cost = \Delta$$

e considerando il limite del rapporto incrementale per DT che tende a zero avremo:

$$(5) F(t) = \frac{dLiv(t)}{dt}$$

Sapendo inoltre che  $F(t) = Cost \cdot Liv(t)$  possiamo scrivere:

$$(6) Cost \cdot Liv(t) = \frac{dLiv(t)}{dt}$$

integrando entrambi i membri otteniamo:

$$(7) \frac{Liv(t)}{Liv(0)} \int \frac{dLiv(t)}{dLiv(0)} \delta = \int_0^t Cost \cdot \delta, \text{ dove } \delta \text{ è una variabile che può assumere valore 0 o 1. Da cui:}$$

$$(8) \ln \frac{Liv(t)}{Liv(0)} = Cost \cdot t \quad \text{oppure} \quad Liv(t) = Liv(0) \cdot e^{Cost \cdot t}$$

Dove:  $Liv(t)$  è valore del livello al tempo  $t$ ;  $Liv(0)$  rappresenta il valore iniziale del livello;  $t$  è il tempo di durata dell'evento considerato ed  $e$  è la base dei logaritmi naturali.

L'equazione (8) consente quindi di determinare il valore della variabile di livello per un qualunque momento di tempo attraverso un solo computo. Tale equazione, avendo un andamento esponenziale, ci indica che variazioni unitarie di tempo daranno luogo ad una variazione più che proporzionale del valore della variabile di livello.

Un circuito di feedback negativo si caratterizza per il suo comportamento volto al conseguimento di specifici obiettivi. Comunemente avviene che termini quali omeostasi, autoregolazione o autoequilibrio, implicano la presenza di un obiettivo che, a sua volta, definisce un sistema di feedback negativo.

Ponendo quindi che la funzione di *feedback* negativo assuma la stessa forma funzionale di quello positivo, con la condizione che sia raggiunto nel momento K un dato obiettivo (Ob), possiamo riscrivere l'equazione di feedback negativo come:

$$(9) F_{JK} = \frac{Liv_K - Liv_J}{DT} \text{ sotto un dato vincolo } Ob_K \text{ che renderà il flusso } F(t) = Cost \cdot (Ob - Liv(t)).$$

Considerando ancora una volta il limite della di Fjk per DT che tende a zero avremo:

$$(10) \frac{dLiv(t)}{dt} = Cost \cdot (OB - Liv(t))$$

Integrando entrambi i membri avremo:

$$(11) \int_{Liv(0)}^{Liv(t)} \frac{dLiv(\delta)}{Ob - Liv(\delta)} = \int_0^t Cost \cdot d\delta, \text{ dove } \delta \text{ è ancora una volta una variabile che può assumere}$$

valore 0 o 1. Da cui:

$$(12) \ln \frac{Ob - Liv(t)}{Ob - Liv(0)} = -Cost \cdot t \quad \text{oppure} \quad \frac{Ob - Liv(t)}{Ob - Liv(0)} = e^{-Cost \cdot t}$$

Nuovamente si è dimostrato che un circuito di feedback negativo di primo grado ha un andamento esponenziale e tenderà a raggiungere un limite inferiore rappresentato dal vincolo imposto.

In pratica, il sistema di equazioni sopra descritto evidenzia il modo in cui un modello dinamico riesce meglio a determinare gli effetti di una politica di investimento in infrastrutture aeroportuali rispetto a quanto accadrebbe utilizzando i classici modelli di analisi costi-benefici oppure una analisi multicriteria. Tali modelli, infatti, non consentono di cogliere tutte le retroazioni così come avviene nei modelli dinamici.

## 6. Considerazioni finali

Le tendenze riscontrabili nell'ambito del mercato del trasporto aereo europeo fanno intravedere un futuro nel quale la dinamica industriale lascerà spazi sempre più limitati alle rendite di posizione

godute dai gestori degli impianti aeroportuali minori. Difatti la quasi totale assenza di barriere all'entrata e all'uscita dal mercato che, per i vettori, si traduce in un'ampia flessibilità nella fase di definizione della rete dei collegamenti, garantisce alle compagnie aeree un maggior potere contrattuale nei confronti delle società di gestione degli aeroporti.

Questo scenario comporterà notevoli implicazioni sia per il management aeroportuale che per il *policy maker*.

Nei precedenti paragrafi, si è sottolineato che la scelta dell'aeroporto da parte di una compagnia aerea non dipende solo dalle variabili connesse alla domanda ed all'offerta di servizi di trasporto. Al contrario, spesso tale scelta dipende dalle politiche dei gestori aeroportuali che spingono le compagnie aeree ad utilizzare i loro aeroporti. Chiaramente, per il gestore, le difficoltà di rendere attraente lo scalo aumentano quanto più ridotto è il bacino di utenza come accade per gli aeroporti minori. In questo caso il terminale dovrà offrire condizioni particolarmente favorevoli per la compagnia aerea con conseguenti aumenti di costo.

Come è ovvio le modificazioni intervenute nell'ambito dei rapporti tra il vettore e il gestore aeroportuale, andranno attentamente considerate anche in sede di definizione delle politiche infrastrutturali o di incentivazione delle rotte

È chiaro che soltanto i sistemi di supporto alle decisioni complessi e capaci di elaborare *feedback* di azioni, possono condurre il gestore dell'impianto e il *policy maker* ad effettuare scelte corrette. Tali motivazioni evidenziano la validità delle analisi di *system dynamics* per la risoluzione dei problemi di scelta complessi, relativi ad interventi di lungo periodo, quali gli investimenti di carattere infrastrutturale, o a scelte di breve periodo, quali l'apertura di nuove rotte aeree facenti capo ad un aeroporto.

In letteratura sono stati prodotti numerosi lavori tesi ad individuare le variabili che influiscono sulle scelte di un aeroporto da parte di una compagnia aerea. Purtroppo nella maggior parte dei casi si tende ad analizzare il fenomeno considerando soltanto le scelte della compagnia aerea, indipendentemente dalle politiche del gestore aeroportuale.

Solo di recente è stato condotto uno studio (Marafioriti et al., 2000) con un approccio di *system dynamics* per l'analisi della crescita della domanda in un aeroporto. Tale modello che analizza esclusivamente le variabili che influiscono sulla crescita del traffico passeggeri negli *hub*, pone particolare attenzione al problema della redditività degli scali, tralasciando tuttavia gli aspetti di politica dei trasporti e gli effetti degli investimenti sul tessuto economico-sociale dell'area in cui sono situati gli impianti.

In ogni caso si può affermare con certezza che i modelli di *system dynamics* offrono ottime possibilità in termini di "efficienza" dei processi decisionali del management aeroportuale e dei

decisori pubblici impegnati nella definizione delle politiche di investimento nelle infrastrutture aeroportuali.

### **Riferimenti bibliografici**

**Barbot C.**, [2006], Low-cost airlines, secondary airports, and state aid: An economic assessment of the Ryanair–Charleroi Airport agreement, *Journal of Air Transport Management*, 12, 197-203.

**Bardaci E. A.**, [2000], Practical guide for policy analysis, Chatman House Publisher.

**Bowe M.; Lee D. L.**, [2004], Project evaluation in the presence of multiple embedded real options: evidence from the Taiwan High-Speed Rail Project, *Journal of Asian Economics*, Volume 15, Issue 1, February, pp. 71-98.

**Casini Benvenuti S., Lorenzini S., Maltinti G.**, [1999], Aeroporti e sviluppo economico: il caso di Firenze, in *Politiche locali, infrastrutture per lo sviluppo e processi di integrazione euro-mediterranea*, Camagni R., Fazio V., (a cura di), F. Angeli, Milano.

**Daniel S. E., Tsoulfas G. T., Pappis C. P., Rachaniotis N. P.**, [2004], Aggregating and evaluating the results of different Environmental Impact Assessment methods, *Ecological Indicators*, Volume: 4, Issue 2, June, pp. 125-138.

**De Greene K. B.**, [1993], Based approach to policymaking, Norwell, Mass.

**European Commission**, [2004], Commission decision of 12 February 2004. Official Journal of the European Union, 30.04.2004.

**Ford D.N., Anderson S., Damron A., de Las Casas R., Gokmen N., Kuennen S.**, [2004], Managing constructability reviews to reduce highway project durations, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 130, Issue 1.

**Forrester J.**, [1969], *Urban Dynamics*, Productivity Press, Portland.

**Francis G., Humphreys I., Ison S.**, [2004], Airports' perspectives on the growth of low-cost airlines and the remodeling of the airport–airline relationship, *Tourism Management*, 25, 507-514.

**Holtz-Eakin, D.**, [1994], Public-sector capital and the productivity puzzle, *Review of Economics and Statistics*, 76 (1), 12–21.

**Kim Hin D. H., Mun Wai H., Chi Man E. H.**, [2008], Structural Dynamics in the Policy Planning of Large Infrastructure Investment under the Competitive Environment: Context of Port Throughput and Capacity, *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 134, Issue 1, pp. 9-20.

**Marafioti E., Mollona E.**, [2000], Governare un sistema complesso con il System Dynamics: La nascita di un hub, *Economia & Management*, n° 6, Novembre, Etas Libri.

**Mas M., Maudos J., Perez F., Uriel E.**, [1996], Infrastructure and productivity in the Spanish regions, *Regional Studies*, 30 (7), 641–649.

**Susan A., Imbens G.**, [2006], Identification and Inference in Nonlinear Difference-in-Differences Models, *Econometrica*, Vol. 74, No. 2, pp. 431-497.

**Tucci G.**, [1998], Fondamenti economici della “de-regulation” nei trasporti, *Quaderno della Scuola di Specializzazione in Economia e Politica dei Trasporti*, Roma. ent, 25, 507-514.