



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Ingegneria Civile

*Dottorato di Ricerca
in
Rischio e sostenibilità
nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale*

XXX Ciclo (2014-2017)

**Sistemi informativi intelligenti a supporto di
passeggeri di un terminal aeroportuale: contenuti
informativi, modelli di propensione all'uso, modelli di
reazione all'informazione e specificazione di un
ambiente di simulazione dinamico**

Sintesi e conclusioni

Ing. Luigi Elia

Il Tutor
Prof. Stefano De Luca

Il Coordinatore
Prof. Fernando Fraternali

Indice

| | |
|---------------------------------|-----------|
| INTRODUZIONE | 1 |
| MOTIVAZIONI | 5 |
| OBIETTIVI OPERATIVI | 8 |
| [OBIETTIVO – I] | 8 |
| [OBIETTIVO – II] | 8 |
| [OBIETTIVO – III] | 10 |
| [OBIETTIVO – IV] | 11 |
| CONTRIBUTO DELLA RICERCA | 13 |
| RISULTATI E CONCLUSIONI | 14 |
| [OBIETTIVO – I] | 14 |
| [OBIETTIVO – II/A] | 15 |
| [OBIETTIVO – II/B] | 18 |
| [OBIETTIVO – III] | 19 |
| [OBIETTIVO – IV] | 20 |
| OUTLINE DELLA TESI | 22 |

Introduzione

Nella catena dei nodi di un sistema di trasporto, l'aeroporto rappresenta oggi un'entità chiave poiché garantisce collegamenti e scambi in tempi rapidi e, data la liberalizzazione del mercato del trasporto aereo, anche con costi molto più contenuti rispetto agli anni precedenti.

Negli ultimi cinquant'anni, il trasporto aereo mondiale ha subito un incremento straordinario, nettamente superiore a quello conosciuto dagli altri modi di trasporto. Pur risultando intrinsecamente instabile, perché molto sensibile ad eventi come guerre, attentati terroristici e recessioni economiche, la domanda di trasporto aereo è fortemente cresciuta nel tempo. Nel decennio 1966-77 il traffico aereo mondiale, in termini di passeggeri – km, è cresciuto ad un tasso medio annuo del 11,6%. Nel successivo decennio dal 1987 al 1997 il tasso è stato del 4.8%; fra il 1998 e il 2003 il tasso è stato del 2% circa.

Dal 2003 al 2013 il tasso di crescita è stato di circa il 6.2% e del 6.4% nel triennio 2014-2016. (IATA 2016)

Ogni giorno ci sono più di 3 miliardi di passeggeri annui (167 milioni solo in Italia) ed oltre 997.000 viaggi aerei giornalieri, ma se la crescita della domanda pone problemi a medio-lungo termine, legati soprattutto al superamento di barriere normative di natura ambientale, nel breve termine non si possono trascurare gli effetti che la liberalizzazione dei servizi di trasporto aereo ed il processo di privatizzazione degli scali aeroportuali stanno avendo sul mercato dell'aviazione stesso e sulle dinamiche aziendali.

La deregulation e l'entrata nel mercato delle compagnie low-cost hanno fatto crescere il livello di competizione tra le compagnie e l'orizzonte temporale della competizione stessa. La concorrenza si gioca sui nuovi collegamenti, sulle tariffe, sulla qualità dei servizi, sulla frequenza del servizio e, soprattutto, si gioca giorno per giorno. Tutte queste modifiche impongono alle compagnie aeree un'attenta pianificazione tattica dei propri servizi (e.g. frequenze, tariffe, orari) ed uno sforzo di pianificazione strategica dei servizi e delle risorse per il futuro (e.g. aeroporti in cui concentrare i propri servizi, aeroporti di origine e di destinazione da servire, composizione e numerosità della flotta). Contemporaneamente, la privatizzazione degli scali sta lentamente trasformando l'aeroporto in un'azienda fornitrice di servizi

a compagnie aeree, a utenti (viaggiatori) e non utenti. Se da una parte l'aeroporto deve essere in grado di attrarre compagnie aeree, fornendo servizi migliori, costi unitari minori e bacini di utenza adeguati, dall'altro deve essere in grado di attrarre e fidelizzare nuovi utenti mediante parcheggi, mobilità interna, accessibilità in ingresso, movimentazione dei bagagli, servizi accessori e più in generale garantendo una soddisfacente passenger experience.

Le attuali sfide che si pongono d'avanti alle società che gestiscono le strutture aeroportuali sono dunque molteplici a seconda dei diversi stakeholder interessati. Infatti si può mettere in evidenza come l'impostazione organizzativa e strategica delle società di gestione aeroportuale si stia sempre più indirizzando verso la piena valorizzazione dei rapporti con numerose tipologie di utenti e clienti, che vanno ben al di là della categoria dei vettori aerei, cui, per tradizione, le società di gestione hanno sempre rivolto la propria attività in una logica di produzione e secondo una impostazione di offerta. Si afferma, invece, in maniera sempre più definita nei suoi contorni, un nuovo modello di società di gestione, che si avvicina all'idea di aeroporto commerciale e che valorizza non solamente i ricavi aviation, ma anche quelli che derivano dalle attività non aviation.

Garantire un livello di servizio adeguato rispetto agli standard di qualità richiesti dai passeggeri e non, in termini di tempi di spostamento, spazi di movimentazione, servizi informativi, garantire un alto livello di sicurezza a fronte dei nuovi livelli di allerta imposti dalle tensioni geopolitiche e dal rischio terrorismo, ridurre i costi relativi alla gestione delle risorse interne, incrementare le entrate commerciali promuovendo l'acquisto di beni e servizi all'interno dell'aerostazione, sono solo alcune delle problematiche rilevanti che gli aeroporti, in un'ottica di aperta concorrenza e sostenibilità economica, si trovano a dover affrontare utilizzando precisi strumenti per la pianificazione strategica e tattica e per la gestione in tempo reale.

Gestire un aeroporto è un compito gravoso che richiede una stretta collaborazione tra una moltitudine di operatori, enti e sistemi, in uno scenario operativo e legislativo caratterizzato da una incessante mutazione. Attività che vanno dalla pianificazione e gestione del personale, alla disseminazione dell'informazione, alla analisi delle performances, si intersecano ogni giorno nella loro diversità operativa, per il perseguimento di obiettivi comuni di qualità e redditività. In questo contesto evolutivo del sistema del valore aeroportuale, le infrastrutture ICT sono considerate

un asset primario ed una leva strategica competitiva importante per le società di gestione degli aeroporti, gli handlers, le compagnie aeree e tutte le altre tipologie di operatori.

La pervasività della tecnologia e dell'ICT rappresenta oggi un elemento assolutamente assodato in tutti i settori produttivi, e con ancora maggiore intensità nel caso dei servizi aeroportuali. La gestione aeroportuale è caratterizzata, oggi giorno, da elevati livelli di ipercompetizione e da un processo di cambiamento sempre più rapido. Diviene, inoltre, sempre più importante la capacità di creare innovazione e di produrre conoscenza, che devono essere interpretate come capacità distintive di sistemi organizzativi di successo.

Lo sviluppo di sistemi informativi serve a soddisfare esigenze di tutti gli stakeholder coinvolti, incidendo anche sulle modalità e sull'efficacia di funzionamento dei sistemi aeroportuali. Lo sviluppo degli aeroporti nella direzione di luoghi di sosta in grado di offrire servizi qualificati ai passeggeri, alle merci ed ai mezzi, e non più, quindi, semplici infrastrutture per l'atterraggio, il decollo e la sosta degli aeromobili, rappresenta sicuramente un elemento di cui tenere conto.

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione contribuiscono allo sviluppo delle imprese favorendone l'innovazione. Innovare significa creare nuovi prodotti o servizi e nuovi processi, con l'obiettivo di ottenere una differenziazione competitiva, ma anche intervenire sui processi esistenti per migliorarne l'efficienza e ciò comporta, oltre all'introduzione di nuove tecnologie, lo sviluppo di soluzioni e modelli per implementare e gestire i sistemi informativi all'interno dei sistemi aeroportuali.

Questo consentirebbe, inoltre, di identificare e progettare le soluzioni informatiche in grado di anticipare e soddisfare i bisogni del business e contribuire allo sviluppo della redditività e del valore dell'azienda, indirizzando la spesa IT verso attività strategiche di maggiore peso per il business.

In questo contesto, particolare attenzione va posta ai servizi informativi offerti all'utenza. Tali servizi possono essere inquadrati sia in un'ottica di semplice miglioramento della customer satisfaction erogando una serie di messaggi informativi volti ad assistere il passeggero durante il periodo di permanenza all'interno del terminal, sia in un'ottica funzionale al raggiungimento di precisi obiettivi aziendali. L'informazione infatti può costituire un importante strumento per orientare nello spazio e nel tempo i flussi pedonali, attuando di fatto politiche di

gestione della domanda indirizzate alla riduzione dei picchi di carico e all'incremento delle non-aviation revenue.

L'individuazione e l'utilizzo di modelli descrittivi e predittivi efficaci e, allo stesso tempo, efficienti rappresenta un passaggio fondamentale per la messa a punto di strumenti a supporto delle decisioni, sia delle compagnie aeree e sia degli imprenditori privati interessati alla gestione degli scali aeroportuali.

Motivazioni

Negli ultimi cinquant'anni, il trasporto aereo mondiale ha subito un incremento straordinario, nettamente superiore a quello conosciuto dagli altri modi di trasporto che ha implicato una profonda trasformazione del settore.

Oggigiorno infatti si va affermando, in maniera sempre più definita, un nuovo modello di società di gestione aeroportuale, che si avvicina all'idea di aeroporto commerciale che, oltre a tendere al continuo efficientamento dei servizi e delle attività, mira alla valorizzazione non solamente dei ricavi aviation, ma anche ai ricavi derivanti dalle attività non aviation.

Garantire un livello di servizio adeguato rispetto agli standard di qualità richiesti dai passeggeri e non, in termini di tempi di spostamento, spazi di movimentazione, servizi informativi, ridurre i costi relativi alla gestione delle risorse interne, incrementare le entrate commerciali sono solo alcune delle problematiche rilevanti che gli aeroporti, in un'ottica di aperta concorrenza e sostenibilità economica, si trovano a dover affrontare utilizzando precisi strumenti per la pianificazione strategica, tattica e per la gestione in tempo reale.

Nella gestione aeroportuale, diviene quindi, sempre più importante la capacità di creare innovazione e di produrre conoscenza, obiettivi che possono essere raggiunti grazie alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione all'utenza.

In un tale scenario quattro problematiche sembrano rilevanti:

- (i) la comprensione della potenziale disponibilità ad utilizzare sistemi informativi avanzati e intelligenti a supporto delle attività di spostamento casa-aeroporto-gate di imbarco;
- (ii) l'analisi e simulazione della disponibilità a pagare per avere sistemi informativi avanzati e intelligenti;
- (iii) l'analisi e simulazione dei comportamenti del passeggero in presenza di sistemi informativi finalizzati a ridurre i tempi di attesa e l'esperienza di viaggio;
- (iv) le modalità per validare e implementare le logiche comportamentali dei passeggeri aeroportuali in presenza di sistemi informativi avanzati.

Se da un lato si è registrato un indiscutibile passo in avanti nello sviluppo delle tecnologie dell'informazione supportate dalla rapida ascesa del cellulare come strumento principe nella comunicazione tra gli utenti, dall'altro non sono stati proposti validi tools per modellare le relazioni che legano i principi di funzionamento delle tecnologie alle reazioni degli utilizzatori, sia in termini di adozione/utilizzo del servizio, reso fruibile dalla tecnologia, sia in termini di disponibilità e seguire le indicazioni di un messaggio informativo veicolato mediante dispositivo mobile.

Da questo punto di vista non basta quindi individuare la tecnologia e quindi il mezzo più appropriato per erogare informazioni personalizzate, ma è necessario altresì definire il messaggio informativo, valutare il potenziale mercato, modellare la risposta dei destinatari (i passeggeri) a precisi input informativi nonché creare un ambiente virtuale dove poter rappresentare le scelte degli utenti del sistema.

La finalità principale del lavoro di tesi è stata dunque quella di studiare e modellare i comportamenti degli utenti di un aeroporto in presenza di servizi di informazione avanzati all'interno del terminal aeroportuale ponendo particolare attenzione ai passeggeri in partenza. Gli elementi di interesse sono quattro:

- 1) lo studio comportamentale della propensione all'utilizzo di sistemi informativi avanzati da parte di utenti del sistema di trasporto aereo che rappresenta una novità nel panorama della letteratura scientifica internazionale;
- 2) lo studio comportamentale della propensione a seguire/accettare o meno l'indicazione fornita dal sistema informativo (compliance) da parte di utenti del sistema di trasporto aereo che rappresenta, anch'esso, una novità nel panorama della letteratura scientifica;
- 3) le analisi esplicite dell'incidenza di fattori psicologici e attitudinali nel processo decisionale (modelli ibridi a variabili latenti);
- 4) l'analisi di costo-efficacia, derivata del confronto tra modelli avanzati e formulazioni consolidate, inerente alla opportunità di ricorrere a soluzioni modellistiche più realistiche ma molto più complesse da calibrare.

Tutte le problematiche citate in precedenza sono state affrontate progettando e realizzando due distinte indagini con preferenze rivelate (SP) e specificando un sistema di modelli matematici finalizzati a simulare la propensione all'uso della tecnologia e a simulare la "compliance" verso informazioni di tipo prescrittivo nelle

tipiche attività aeroportuali. Per ciascuna attività sono stati specificati modelli basati sulla teoria dell'utilità aleatoria. Oltre agli approcci largamente consolidati nell'ingegneria dei trasporti, sono state adottate, inoltre, specificazioni più complesse in grado di mettere in luce il peso delle attitudini personali all'interno del processo decisionale.

La finalità secondaria del lavoro è consistita nella individuazione e specificazione di un ambiente di simulazione in grado di simulare realisticamente le attività del passeggero all'interno di un aeroporto ma anche in grado di tenere esplicitamente conto di logiche comportamentali avanzate e di sistemi informativi intelligenti.

Ad oggi, la maggior parte degli strumenti di simulazione si focalizza sulla descrizione delle attività vincolanti (check-in, controlli di sicurezza, imbarco) non considerando le attività discrezionali come l'utilizzo di altre strutture dell'aeroporto, la ristorazione o lo shopping. Tuttavia il contributo delle attività discrezionali è sempre più significativo sia in termini di bilancio aziendale sia in termini di influenza sui parametri di efficienza dell'aeroporto.

A tal fine, è stato specificato e validato un modello integrato di microsimulazione combinata del flusso dei passeggeri in partenza da un terminal aeroportuale. Benché in versione prototipale, la caratteristica fondamentale dell'ambiente di simulazione sviluppato (Anylogic) è rappresentata proprio dall'introduzione delle attività discrezionali, delle modalità di integrazione con le attività vincolanti e da un approccio simulativo che combina elementi tipici della simulazione ad eventi discreti con la filosofia della modellazione ad agenti applicandoli ad un caso reale.

Obiettivi operativi

Il presente lavoro di ricerca si è posto i seguenti obiettivi operativi:

- [obiettivo - i] Definire un dettagliato stato dell'arte sull'attuale contesto tecnologico e sugli approcci di analisi.**
- [obiettivo - ii] Analizzare e modellizzare i comportamenti di utenti del sistema di trasporto aereo in presenza di sistemi informativi avanzati.**
- [obiettivo - iii] Investigare l'approccio di simulazione più adatto per inglobare logiche comportamentali avanzate all'interno di un modello di simulazione dinamico di un terminal aeroportuale.**
- [obiettivo - iv] Investigare su casi studio semplici la utilità/opportunità di fornire informazioni intelligenti agli utenti di un aeroporto.**

[Obiettivo – i]

Lo studio delle potenzialità e delle caratteristiche di sistemi informativi avanzati in ambito aeroportuale non può prescindere da un attento stato dell'arte. Il lavoro svolto ha cercato di dare risposte alle seguenti problematiche:

- le tecnologie esistenti a supporto dell'esperienza di viaggio di un passeggero del sistema di trasporto aereo,
- gli approcci di analisi e modellazione delle attività di un utente di un aeroporto.

[Obiettivo – ii]

Il secondo obiettivo è stato articolato in due sotto-obiettivi:

- (a) l'analisi della reazione all'informazione,
- (b) l'analisi della propensione ad usare/acquistare servizi informativi avanzati.

In entrambi i casi le problematiche di ricerca che si è desiderato affrontare hanno riguardato la modellazione delle logiche comportamentali in contesti mai investigati in letteratura, l'analisi dei determinanti nei due processi di scelta, l'analisi

dell'incidenza di variabili psico-attitudinali e, infine, l'analisi della reale efficacia di modelli di utilità aleatoria ibridi a variabili latenti rispetto a formulazioni consolidate.

Entrambe le problematiche sono state affrontate progettando e realizzando due distinte indagini SP su due distinti campioni opportunamente scelti tra utenti del sistema di trasporto aereo con almeno 1 spostamento aereo all'anno.

Per quanto ha riguardato la prima problematica (a), l'attenzione è stata posta su spostamenti di partenza da un aeroporto conosciuto dall'utente, analizzando tutte le tipiche attività da svolgere all'interno di un terminal aeroportuale. È stato, pertanto, simulata la sequenza di attività che un generico utente è chiamato a svolgere (check-in, controlli di sicurezza, imbarco) fino all'imbarco, e per ciascuna attività è stata ipotizzata l'esistenza di un sistema informativo in grado, a seconda dei casi, di fornire informazioni sul tempo di attesa in coda all'istante di arrivo e indicazioni sulla opportunità di svolgere altre attività e di tornare dopo un prefissato intervallo temporale. In ciascuna fase dello spostamento è stata raccolta la decisione di seguire o meno l'indicazione fornita dal sistema informativo.

A partire dalle osservazioni sperimentali e a partire dalle informazioni socio-economiche e attitudinali raccolte nell'ambito dell'indagine, è stato calibrato un sistema di modelli di scelta discreta basati sul paradigma teorico dell'utilità aleatoria. Sono state investigate formulazioni consolidate di tipo omoschedastico (Logit) e di tipo ibrido a variabili latenti. Le specificazioni hanno consentito di raggiungere diversi obiettivi: la interpretazione e modellazione del fenomeno, la comprensione dei determinanti del processo di scelta, l'analisi del ruolo di fattori psico-attitudinali e, infine, una comparazione della efficacia riproduttiva di modelli di differente complessità.

Per quanto ha riguardato la seconda problematica (b), a differenza dell'attività (a), l'attenzione è stata posta su tutte le attività che caratterizzano uno spostamento di partenza da un aeroporto dall'origine dello spostamento (casa) al gate di imbarco. È stato, pertanto, simulata la sequenza di attività fino all'imbarco (accesso, parcheggio, ingresso, check-in, controlli di sicurezza, imbarco, attività discrezionali). Per ciascuna attività è stata ipotizzata l'esistenza di un sistema informativo in grado di fornire informazioni sulla migliore scelta/decisione da prendere. In ciascuna fase

dello spostamento è stato raccolta la propensione ad utilizzare il sistema informativo (installare l'eventuale app), la generica disponibilità a pagare per il servizio e, infine, il prezzo massimo che ciascun intervistato era disposto a pagare per il servizio.

A partire dalle osservazioni sperimentali e a partire dalle informazioni socio-economiche e attitudinali raccolte nell'ambito dell'indagine, è stato calibrato un sistema di modelli di scelta discreta basati sul paradigma teorico dell'utilità aleatoria. Anche in questo caso Sono state investigate formulazioni consolidate di tipo omoschedastico (Logit) e di tipo ibrido a variabili latenti. Come per il punto (a) le specificazioni hanno consentito di raggiungere diversi obiettivi: la interpretazione e modellazione della disponibilità ad utilizzare sistemi informativi avanzati nelle diverse attività di spostamento, la comprensione dei determinanti del fenomeno, l'analisi del ruolo di fattori psico-attitudinali e, infine, la disponibilità a pagare per i citati servizi. Anche in questo caso è stato possibile condurre una comparazione della efficacia riproduttiva di modelli di differente complessità.

[Obiettivo – iii]

La reale utilità/efficacia di un sistema informativo dipende dalla sua robustezza e affidabilità predittiva. L' effettiva implementazione richiede, in via preliminare, attente analisi di fattibilità/efficacia e richiede, in fase operativa, la simulazione del funzionamento dell'aeroporto in modo da alimentare in tempo reale il sistema informativo stesso. Inoltre, l'utilità della modellazione di logiche comportamentali non può prescindere dalla possibilità di poterle effettivamente implementare in un modello di simulazione.

Tutte le suddette problematiche non sono banali perché richiedono modelli di simulazione dinamici in grado di simulare il funzionamento di differenti tipologie di unità serventi, la dinamica di flussi pedonali, logiche comportamentali di singoli utenti e le logiche di funzionamento delle attività fornite da differenti gestori. In un tale scenario è necessario individuare un approccio modellistico che sia in grado di integrare in maniera efficace ed efficiente le citate unità.

L'obiettivo è stato perseguito mediante un'analisi desk preliminare dei possibili approcci modellistici esistenti tipici della Ingegneria dei Trasporti e/o dei processi

industriali. Scartati gli approcci più utilizzati per la simulazione del deflusso veicolare, lo studio si è concentrato sugli approcci di simulazione ad eventi discreti o multi-agente, concludendo l'efficacia di un approccio misto capace di integrare simulazione ad eventi e modellazione ad agenti. La simulazione ad eventi discreti consente di rappresentare l'evoluzione del sistema nel tempo, con variabili che cambiano istantaneamente il loro valore in ben definiti istanti. La simulazione ad agenti consente di integrare nella simulazione ad eventi entità dotate di autonomia, intelligenza e mobilità. In particolare, ogni agente valuta il suo stato e prende decisioni in base ad un insieme di regole che ne definiscono il comportamento sociale. La mobilità è un aspetto fondamentale degli agenti che nel loro spostarsi possono accelerare, evitare ostacoli, generare connessioni e più in generale interagire con l'ambiente esterno e con altri agenti. La modellazione combinata permette di combinare i vantaggi dell'una e dell'altra metodologia di simulazione.

Tuttavia, la individuazione tecnico-teorica del migliore approccio modellistico non può garantire, da sola, la reale efficacia in contesti aeroportuali operativi/reali. Pertanto, si è proceduto alla specificazione, calibrazione e validazione di un modello ibrido ad eventi discreti multi-agente su di un caso studio reale rappresentato dall'aeroporto di Napoli-Capodichino. Il modello ha preso in considerazione tanto le attività vincolanti ai fini dell'imbarco (check-in, controlli di sicurezza, etc.) che le attività discrezionali come lo shopping, l'utilizzo dei servizi igienici, l'utilizzo di specifiche strutture dell'aeroporto, etc. Gli agenti rappresentano le entità circolanti che quindi non sono più agenti passivi ed i loro attributi rappresentano alcune variabili di stato del sistema che possono variare anche al di fuori dell'evento.

[Obiettivo – iv]

A partire dalle risultanze sperimentali dell'obiettivo (ii) e a partire dal modello specificato nell'obiettivo (iv), è stata implementata un'applicazione caratterizzata da un'unica unità "servente" tipica dei servizi aeroportuali (check-in, controlli di sicurezza, imbarco). L'applicazione, benché molto semplice, ha visto la diretta implementazione di logiche comportamentali coerenti con quelle investigate al punto (ii). La finalità è stata duplice. Da un lato è stata validata la possibilità di

implementare logiche comportamentali all'interno del modello di simulazione dinamico; dall'altro è stata condotta un'analisi di sensitività rispetto al grado di compliance medio ottimale per ridurre il tempo di attesa in coda e il tempo totale di permanenza nel sistema.

Contributo della ricerca

Le problematiche ora esposte sono state affrontate nel presente lavoro di tesi adottando sia metodologie consolidate in letteratura e nella pratica tecnica, sia approcci più avanzati che rispecchiano la complessità dei fenomeni che si intendono rappresentare. In particolare per lo studio della market penetration e della compliance sono state progettate e realizzate apposite indagini i cui risultati sono stati utilizzati per specificare e calibrare modelli di scelta con l'obiettivo di studiare e analizzare gli indicatori sopracitati.

L'approccio adottato è stato duplice. Da un lato sono stati utilizzati i classici paradigmi di scelta, largamente diffusi nella letteratura tecnica e dall'altro, questi ultimi sono stati utilizzati come modelli di benchmark per specificazioni "avanzate" per riuscire a cogliere attitudini e percezioni non direttamente osservabili ma che comunque possono influenzare il giudizio dei decisori in un contesto decisionale complesso come quello di un terminal aeroportuale. Tali approcci consistono nell'applicazione dei modelli ibridi a variabili latenti (Hybrid Model with Latent Variables). Questa classe di modelli, sebbene molto nota in letteratura non ha ancora visto una larga diffusione nello studio della market penetration e della compliance e risulta ancor meno utilizzata in ambito aeroportuale.

In merito al modello di simulazione, ad oggi, la maggior parte degli strumenti simulativi si focalizzano sulla descrizione delle attività vincolanti (check-in, controlli di sicurezza, imbarco) non considerando le attività discrezionali come l'utilizzo di altre strutture dell'aeroporto, la ristorazione o lo shopping. Tuttavia, come sottolineato anche da Graham(2013), attualmente le entrate non aeronautiche derivanti dall'espletamento di attività non vincolanti rappresentano una cospicua aliquota del bilancio economico del terminal e inoltre possono influenzare notevolmente (molte volte in negativo) i parametri di efficienza dell'aeroporto. Pertanto, la caratteristica fondamentale dell'ambiente simulativo sviluppato è rappresentata proprio dall'introduzione delle attività discrezionali e delle modalità di integrazione con le attività vincolanti.

Risultati e Conclusioni

[Obiettivo – i]

È stato ottenuto un dettagliato stato dell'arte che ha consentito di trarre le seguenti conclusioni:

- Per quanto riguarda le tecnologie a servizio del passeggero, queste hanno subito profonde trasformazioni negli ultimi 20 anni, dovute alla spinta tecnologica del comparto IT per il monitoraggio dell'utenza e la fruizione di servizi in modalità self service. Questi ultimi, a partire dai primi chioschi installati nei principali terminal aeroportuali, si sono esponenzialmente sviluppati in linea con la diffusione dei personal computer prima e della tecnologia mobile poi. Le ultime sperimentazioni fanno presagire un futuro dove gli aeroporti saranno in grado di infittire e migliorare la comunicazione con i propri utenti attraverso l'utilizzo spinto dei social network e dei dispositivi wearable.
- Diversi possono essere i protocolli di comunicazione. Allo stato attuale la tecnologia WiFi e NFC rappresentano i canali più diffusi per monitorare e fornire servizi extra agli utenti. A tali tecnologie si sta velocemente affiancando la tecnologia a radiofari Beacon che copre gran parte dei gap funzionali esistenti e che rappresenta il futuro della comunicazione tra utente e gestore del terminal.
- In merito agli approcci di analisi e modellazione delle attività dell'utente aeroportuale, ormai questi non possono prescindere da metodologie simulative capaci di entrare nel dettaglio delle singole attività e scelte dei singoli passeggeri. Attualmente modelli microscopici agent-based integrati con modelli comportamentali per la simulazione delle scelte rappresentano la soluzione più promettente per affrontare in modo efficiente sia la natura variabile della domanda che quella stocastica del sistema di trasporto aereo.

[Obiettivo – ii/a]

I principali risultati sono di natura conoscitiva e metodologica.

In generale è emerso che il paradigma dell'utilità aleatoria ha confermato la capacità di interpretare e modellare i comportamenti di scelta in presenza di un sistema informativo.

Sia gli approcci consolidati che gli approcci avanzati (modelli ibridi) hanno evidenziato simili capacità riproduttive.

Per le singole fasi dello spostamento è possibile trarre le seguenti indicazioni.

Check-In

- La predisposizione a seguire l'informazione è risultata essere pari a circa il 74% di coloro che hanno dichiarato di voler immediatamente espletare la procedura di registrazione. L'analisi ha evidenziato che al variare del contenuto informativo del messaggio erogato non corrispondono grandi differenze comportamentali.
- L'utilizzo di informazioni aggiuntive, sui tempi totali per l'imbarco e info commerciali non giocano un ruolo significativo nel processo di scelta.
- I risultati della calibrazione hanno evidenziato la coerenza dei segni e la significatività statistica degli attributi dell'informazione (attributi di livello di servizio). In particolare si è evinto che a tempi in coda elevati (t_q) corrisponde una maggiore propensione degli utenti a voler rimandare il check-in. Viceversa maggiore è l'intervallo temporale suggerito dal sistema per mettersi in fila (t_{info}) e minore sarà la tendenza del passeggero a seguire i consigli del sistema. Infine più il tempo in coda (t_w) previsto a valle di un certo t_{info} , è piccolo e maggiore sarà la probabilità di seguire il messaggio del S.I.
- Per l'attributo (t_q) sono state sperimentate specificazioni lineari e non. Dal confronto è emerso che sopra la soglia dei 20 minuti l'incremento di utilità del messaggio informativo cresce più che linearmente.
- In merito agli attributi socio-economici, è emerso che alcune caratteristiche come il genere, l'età, l'esperienza di viaggio, la tendenza ad arrivare in anticipo al terminal, la propensione all'uso delle tecnologie sono attributi significativi nel processo di scelta. In particolare si è visto che il genere maschile, la giovane età,

la poca esperienza di viaggio e la tendenza ad organizzare i propri spostamenti tramite app sono chiari indicatori di una predisposizione a seguire le indicazioni del sistema. Per contro la tendenza ad arrivare in anticipo all'aeroporto o l'abitudine a pianificare pre-trip, in maniera dettagliata, i propri spostamenti sono sintomi di un'inerzia comportamentale che spinge l'utente a non affidarsi ai suggerimenti del sistema.

- la variabile latente che indica l'intrinseco bisogno di informazioni ha mostrato segno positivo. Quindi maggiore è tale bisogno e maggiore è la propensione dell'utente a seguire le indicazioni del sistema.
- Dalla validazione è emerso che, in una percentuale maggiore del 70%, le scelte effettuate dal campione corrispondono alla risposta del modello.

Controlli di sicurezza

- La predisposizione a seguire l'informazione è risultata essere pari a circa il 67% di coloro che hanno dichiarato di volersi recare immediatamente ai varchi di sicurezza dopo il check-in. A differenza del caso precedente però ad un diverso contenuto informativo corrispondono differenze comportamentali più marcate.
- L'utilizzo di informazioni aggiuntive, sui tempi totali per l'imbarco e info commerciali non giocano un ruolo significativo nel processo di scelta.
- I risultati della calibrazione hanno evidenziato la coerenza dei segni e la significatività statistica degli attributi dell'informazione (attributi di livello di servizio). In particolare si è evinto che a tempi in coda elevati (t_q) corrisponde una maggiore propensione degli utenti a voler rimandare i controlli. Viceversa maggiore è l'intervallo temporale suggerito dal sistema per mettersi in fila (t_{info}) e minore sarà la tendenza del passeggero a seguire i consigli del sistema. Infine più il tempo in coda (t_w) previsto a valle di un certo t_{info} , è piccolo e maggiore sarà la probabilità di seguire il messaggio del S.I.
- Per l'attributo (t_{info}) sono state sperimentate specificazioni lineari e non. Dal confronto è emerso che sopra la soglia dei 26 minuti l'incremento di disutilità del messaggio informativo cresce più che linearmente.

- In merito agli attributi socio-economici, è emerso che alcune caratteristiche come l'età, il motivo dello spostamento, la presenza di bagaglio a mano, l'esperienza di viaggio, la tendenza ad arrivare in anticipo al terminal, la propensione all'uso delle tecnologie sono attributi significativi nel processo di scelta. In particolare si è visto che, la giovane età, la poca esperienza di viaggio la tendenza ad organizzare i proprio spostamenti tramite app, lo spostarsi per svago, sono chiari indicatori di una predisposizione a seguire le indicazioni del sistema. Per contro la tendenza ad arrivare in anticipo all'aeroporto o l'abitudine a pianificare pre-trip, in maniera dettagliata, i propri spostamenti e la presenza di bagaglio a mano sono sintomi di un'inerzia comportamentale che spinge l'utente a non affidarsi ai suggerimenti del sistema
- La variabile latente che indica l'intrinseco bisogno di informazioni ha mostrato segno positivo. Quindi maggiore è tale bisogno e maggiore è la propensione dell'utente a seguire le indicazioni del sistema.
- Dalla validazione è emerso che, in una percentuale maggiore del 70%, le scelte effettuate dal campione corrispondono alla risposta del modello.

Imbarco

- La predisposizione a seguire l'informazione è risultata essere pari a circa il 71% di coloro che hanno dichiarato di voler immediatamente recarsi al gate dopo aver completato i controlli di sicurezza. In questa fase si è notato che la propensione ad affidarsi ai suggerimenti del sistema è tanto maggiore quanto minore è il tempo che manca all'imbarco.
- In questa fase è emerso che fornire informazioni personalizzate di wayfinding e sullo stato reale del volo può invogliare i passeggeri a ritardare il momento di recarsi al proprio gate.
- Dato il ridotto numero di rispondenti che hanno dichiarato di volersi recare immediatamente ai gate, per questa fase di spostamento non è stato calibrato alcun modello di scelta.

[Obiettivo – ii/b]

I principali risultati sono di natura conoscitiva e metodologica.

In generale è emerso che il paradigma dell'utilità aleatoria ha confermato la capacità di interpretare e modellare i comportamenti degli utenti in merito alla disponibilità ad utilizzare ed eventualmente a pagare per installare un'app in grado di fornire servizi informativi avanzati. Sia gli approcci consolidati che gli approcci avanzati (modelli ibridi) hanno evidenziato simili capacità riproduttive.

Dallo studio effettuato si è evidenziato che:

- Il 76.9% del campione ha dichiarato di essere disposto a scaricare e installare un'app di supporto informativo aeroportuale. Tale percentuale sale al 95.4% qualora venissero concessi ai rispondenti una serie di incentivi come sconti e promozioni negli esercizi commerciali all'interno del terminal, Wi-Fi gratuito, etc.
- Tra le motivazioni di coloro che hanno dichiarato di non essere disposti ad installare l'app spiccano prevalentemente motivi legati alla privacy o al disinteresse verso una qualunque assistenza informativa.
- L'indagine ha evidenziato che solo poco più del 34% di coloro che avevano dichiarato di essere disposti ad installare l'app (con o senza incentivi) è disposto a pagare.
- Circa il 78% di chi è disposto a pagare, dichiara di voler spendere una cifra non superiore ai 3 euro all'anno.
- Le informazioni più apprezzate sono quelle relative ai tempi per superare una certa fase dello spostamento e di wayfinding.
- I risultati della calibrazione hanno evidenziato la coerenza dei segni e la significatività statistica dell'attributo costo. In particolare si è evinto che all'aumentare del costo, cala la propensione all'acquisto dell'app.
- In merito agli attributi socio-economici, è emerso che le donne, i liberi professionisti, chi effettua più di tre spostamenti all'anno e chi già utilizza comunemente un'app per pianificare il proprio viaggio, è più propenso ad installare l'app seppur a pagamento.

- Ad un livello di istruzione più alto, corrisponde una maggiore propensione ad utilizzare l'app.
- Gli utenti più giovani presentano una maggiore inclinazione a utilizzare l'app ma sono meno propensi a installarla se a pagamento.
- In generale maggiore è il grado di importanza assegnata ad un'informazione sui tempi e di wayfinding e più alta risulta la propensione ad installare l'app.
- La variabile latente che indica l'intrinseco bisogno di informazioni ha mostrato segno positivo. Quindi maggiore è tale bisogno e maggiore è la propensione dell'utente a utilizzare e eventualmente a pagare per ottenere l'app.
- Dalla validazione è emerso che, in una percentuale compresa tra il 71 e 87%, le scelte effettuate dal campione corrispondono alla risposta dei modelli.

[Obiettivo – iii]

Oltre alla individuazione dell'approccio modellistico più efficace a simulare un sistema aeroportuale in presenza di sistemi informativi avanzati, la specificazione del modello su di un caso reale ha consentito di riprodurre sia le attività vincolanti ai fini dell'esecuzione del processo di imbarco sia il libero arbitrio dei passeggeri nel intraprendere attività discrezionali. In particolare, il modello è stato validato confrontando i risultati della modellazione con le evidenze sperimentali raccolte nel giorno 22 Settembre 2017 nel terminal dell'aeroporto internazionale di Napoli. La convalida del modello è stata realizzata confrontando i flussi registrati in sito con quelli calcolati dal modello. Le sezioni di controllo prese in considerazione sono state la sezione dei pre-filtri e la sezione dei controlli di sicurezza, poste entrambe al primo piano del terminal.

Sono stati altresì introdotti due indicatori: lo scostamento massimo e lo scostamento medio.

Lo scostamento massimo può essere inteso come una sorta di errore massimo che si può registrare ogni minuto nel confrontare i flussi registrati con i flussi simulati mentre lo scostamento medio rappresenta l'errore medio valutato per ogni minuto.

Dal confronto dei flussi si è evinto che i valori di scostamento massimo e minimo valutati con flussi aggregati a 15 e 60 minuti risultano più che accettabili rispetto agli standard operativi e le esigenze dell'ente gestore dell'aeroporto.

Si è, pertanto, potuto concludere che la modellazione ibrida (Discrete Event + Multi Agents), con l'introduzione di logiche comportamentali che tengano conto della pressione temporale e delle modalità con cui i passeggeri effettuano lo shopping, rappresenta uno strumento affidabile e robusto per la rappresentazione dei flussi pedonali all'interno del terminal.

All'interno del modello sono state anche implementate, mediante opportuni script Java, logiche comportamentali più complesse che includono la presenza di un sistema informativo e la reazione all'informazione dei passeggeri. Tuttavia la validazione di un siffatto modello richiederebbe un dettagliato database sugli andamenti delle code in corrispondenza delle sezioni di riferimento (desk check-in e varchi di sicurezza) che, al momento, è ancora in fase di costruzione. Per tale motivo il modello è stato validato non considerando la market penetration e la compliance di un messaggio informativo ma ci si riserva di includere tali aspetti nel modello non appena il suddetto database risulterà disponibile.

[Obiettivo – iv]

La implementazione di un'unica unità servente di un sistema informativo ha evidenziato che:

- Ai fini della riduzione del tempo medio di fase (tempo medio per superare una certa fase di spostamento) il valore medio della compliance medio deve essere minore di 1;
- Il tempo in coda generalmente diminuisce (al più rimane lo stesso) all'aumentare del grado di compliance medio;
- Per bassi volumi di passeggeri da registrare, un valore di compliance medio superiore a 0 può essere controproducente;

- Per volumi di passeggeri estremamente bassi (e con bassi tempi di servizio e alti valori di coda tollerabile) la presenza o meno di un sistema informativo è indifferente.

È utile chiarire che l'applicazione presentata è da interpretarsi come corollario a tutte le attività svolte. La finalità è validare la potenzialità di un sistema informativo avanzato e, allo stesso tempo, evidenziare la importanza di una robusta e congruente informazione, oltre alla necessità di definire preliminarmente una market penetration. Appare evidente la necessità di implementare una simulazione integrata dell'intero sistema aeroportuale, con stima di indicatori di performance globali. Il tutto rappresenta una delle prospettive di ricerca che questa tesi lascia a future attività.

Outline della tesi

Il lavoro è articolato nei seguenti capitoli:

Nel primo capitolo viene riportata un'introduzione del lavoro di ricerca evidenziando il contesto di ricerca, gli obiettivi della tesi e i contributi presenti nel seguente lavoro

Nel secondo capitolo viene riportato un ampio e dettagliato stato dell'arte su:

- le tecnologie attualmente in uso all'interno dei terminal aeroportuali per l'interazione e il monitoraggio dell'utenza;
- le attività del passeggero all'interno di un terminal aeroportuale
- i modelli di simulazione esistenti in letteratura per simulare il deflusso pedonali;
- i modelli di simulazione per rappresentare il funzionamento di un terminal aeroportuale e le attività dei passeggeri;
- i modelli di compliance esistenti in letteratura e relativi alla fornitura di servizi avanzati di informazione al passeggero (Advanced Passenger Information System)

Nel terzo capitolo viene riportato l'inquadramento metodologico dei modelli decisionali per la simulazione dei comportamenti di scelta degli utenti di un sistema di trasporto

Il quarto capitolo è dedicato all'analisi della propensione degli utenti di un terminal a seguire o meno le indicazioni fornite dal sistema informativo.

Nel quinto capitolo vengono descritte le attività di indagine per lo studio della market penetration di un sistema informativo basato sull'erogazione del messaggio tramite app su smartphone.

Nel sesto capitolo viene descritto il processo di costruzione di un modello di microsimulazione pedonale applicato ad un caso studio reale. Il terminal oggetto di studio è stato quello dell'aeroporto internazionale di Napoli.

La tesi termina con un capitolo conclusivo nel quale vengono sintetizzati i risultati della ricerca.

