

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE STATISTICHE
CORSO DI LAUREA IN STATISTICA E TECNOLOGIA INFORMATICA



TESI DI LAUREA

**SIMULAZIONE DELL'AIRSIDE AEROPORTUALE
IN MICRO SAINT: IL CASO DELL'AEROPORTO
VALERIO CATULLO DI VILLAFRANCA DI VERONA**

Relatore: Prof . Giovanni Andreatta

Laureando: Giulio Cordioli

Anno Accademico 2006-2007

INDICE

INTRODUZIONE	7
CAPITOLO 1: L’AEROPORTO DI VAILLAFRANCA	9
Caratteristiche tecniche dell’aeroporto	10
CAPITOLO 2: ANALISI DEL PROBLEMA	13
Attori	14
Attività	14
Ordine attività	17
CAPITOLO 3: ANALISI DEL MODELLO	21
Turnaround per voli di linea e charter	22
Turnaround per voli cargo	23
Turnaround per voli privati	24
Turnaround con sosta per voli di linea e charter	26
Turnaround con sosta per voli cargo	27
Turnaround con sosta per voli privati	28
Tempi delle operazioni	29
CAPITOLO 4: PROGRAMMI	31
Programma C++	35
Programma Micro Saint	42
Matrice dei dati	81
CAPITOLO 5: RISULTATI DELLA SIMULAZIONE	85
Prima simulazione	85
Seconda simulazione	95
Terza simulazione	97
Quarta simulazione	100
Quinta simulazione	104
CONCLUSIONI	109
BIBLIOGRAFIA	111
RINGRAZIAMENTI	113

INTRODUZIONE

Il nostro lavoro consiste nel simulare il turnaround degli aerei che arrivano e partono da un aeroporto. Con turnaround si vogliono indicare tutte le operazioni che compie un velivolo dal momento in cui tocca terra al momento in cui riparte.

Si è scelto di sviluppare questo tema perché è un argomento di grande attualità e in fase di continuo sviluppo; gli esperti prevedono infatti che il traffico aereo continuerà a crescere col passare degli anni. Con l'aumentare della domanda dei voli si andrà incontro a problemi di sicurezza, di congestione, di efficienza, di mancanza di strutture adeguate a sopportare un traffico così elevato. Lo scopo dei ricercatori è quello di riuscire a implementare strategie che permettano un pieno utilizzo delle strutture, cercando di evitare sprechi e perdite di tempo.

Il sistema aeroportuale è un insieme di meccanismi molto complessi dove prendono parte attori differenti che competono e/o cooperano per l'adempimento dei propri obiettivi.

Lo scambio di informazioni tra i vari attori è la chiave per risolvere il problema. La cooperazione tra persone, risorse e strutture che si trovano a chilometri di distanza e che parlano lingue diverse non è facile da gestire.

Per questo capita spesso che si verifichino ritardi nei voli, basta infatti un minimo problema per creare un ritardo, il quale ne genererà altri innescando una reazione a catena. I ritardi rappresentano dei costi per le aziende ed è per questo motivo che si studiano sistemi e procedure per cercare di minimizzarli.

Il nostro obiettivo è quello di simulare un processo di turnaround prendendo in esame l'aeroporto di Villafranca di Verona, immaginando di utilizzare le sue risorse e i suoi piani di volo.

L'AEROPORTO DI VERONA

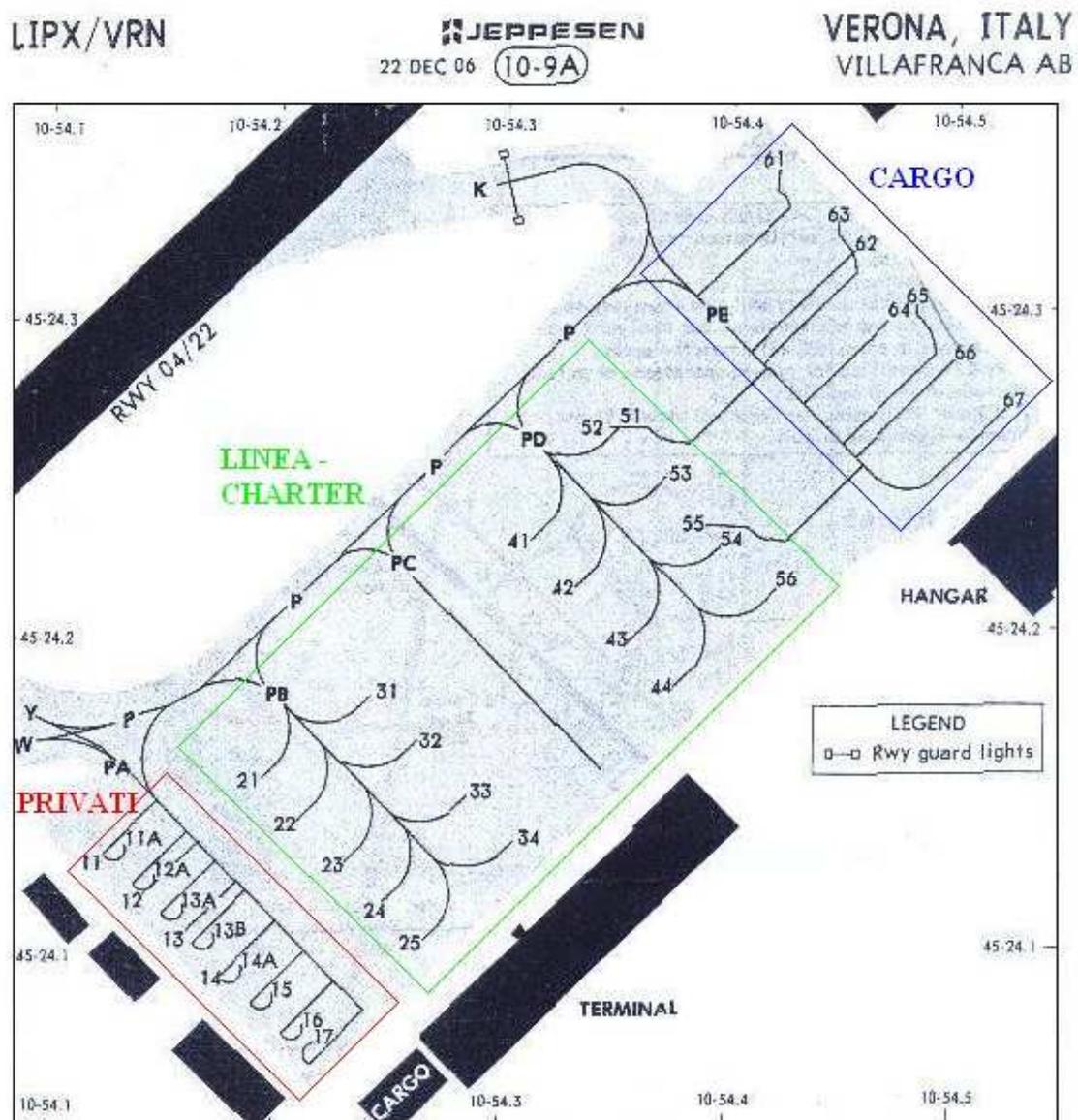
Aeroporto militare durante il secondo conflitto mondiale, Verona Villafranca inizia la propria attività di scalo civile nei primi anni sessanta con alcuni voli charter dal nord Europa e con collegamenti quotidiani con Roma. Dalla fine degli anni settanta, la Provincia, il Comune e la Camera di Commercio di Verona realizzano il primo progetto societario che trasforma lo scalo veronese in vera e propria aerostazione. Nasce così nel dicembre del 1978 la società di gestione Aeroporto Valerio Catullo di Verona Villafranca Spa, partecipata anche dai comuni su cui insiste l'aeroporto: Villafranca e Sommacampagna; dalla Provincia di Trento (secondo azionista), di Brescia, di Bolzano e da altri enti istituzionali ed economici del territorio. Nel 1990, per far fronte al continuo incremento del traffico aereo, viene compiuta una profonda riqualificazione dell'aerostazione, con un notevole ampliamento dei piazzali di sosta aeromobili e delle auto oltre all'allacciamento alle nuove tangenziali realizzate per i Mondiali di calcio, con un sensibile miglioramento della viabilità. Nel 1995 l'aeroporto conta per la prima volta un milione di passeggeri in un anno e nel 2001 raggiunge i due milioni. Nel 2006 l'aeroporto di Verona ha raggiunto, per la prima volta nella sua storia, quota 3 milioni di passeggeri transitati in un solo anno. L'aeroporto di Verona è inoltre dotato di un sistema antinebbia che consente l'operatività dello scalo anche in condizioni di visibilità critiche che è quanto di meglio si può trovare nel panorama degli aeroporti italiani e internazionali. Grazie a questo sistema, operativo dall'inizio del 2003, l'aeroporto scaligero è abilitato ad operare in Categoria IIIB, ovvero fino alla visibilità critica di 75 metri.

CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'AEROPORTO

L' aeroporto ha codice 4F nella scala ICAO, significa che è in grado di poter ospitare qualunque tipo di aeroplano. E' presente una sola runway (pista di atterraggio/decollo), con orientamento magnetico 04-22 (NE-SO), di lunghezza 3067.5 m e larghezza 45 m. Essa è collegata mediante due taxiways alla apron (zona parcheggi) dove sono presenti una trentina di stands.

Gli aeromobili una volta atterrati vengono scortati al loro parcheggio da macchine speciali chiamate "follow me", che li riaccompagnano anche quando uscono dalla apron e si immettono nella taxiway.

Il parcheggio viene deciso dagli operatori aeroportuali in base al tipo di aereo, al tempo di permanenza e alle disposizioni di sicurezza.

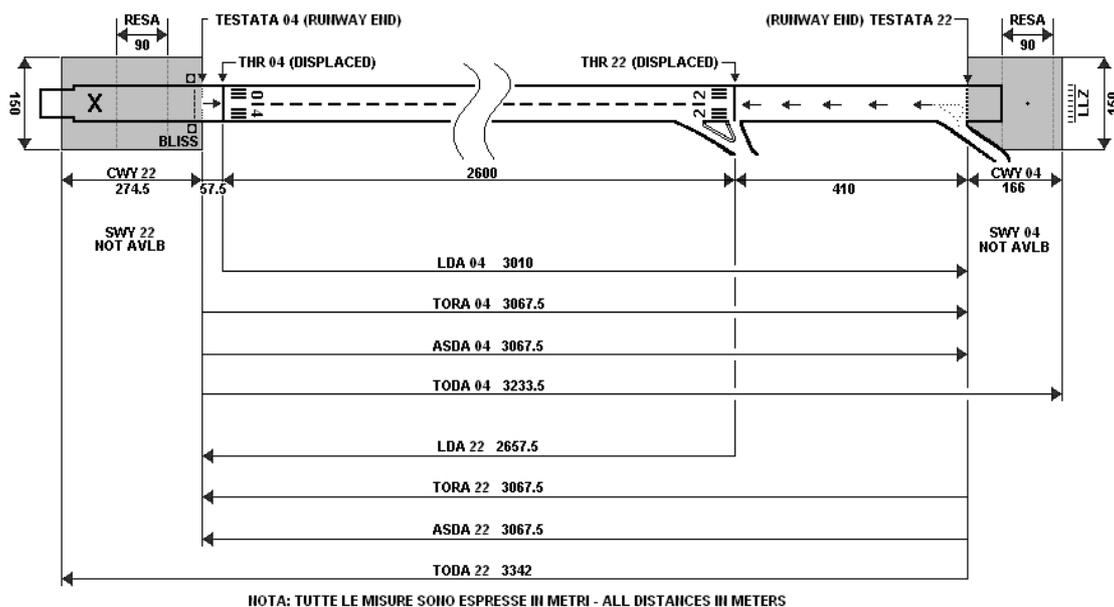


Questa diapositiva mostra la disposizione dei parcheggi sulla apron. Al centro sono posizionati i 17 posti per gli aerei di linea o charter. Sono collocati nella zona centrale per essere più comodi e ridurre le distanze che devono percorrere passeggeri ed operatori per raggiungere il terminal. Sulla destra sono posizionati i 4 parcheggi per i cargo e sulla sinistra i 7 posti per i velivoli privati.

Questa disposizione non è sistematica, infatti all'occorrenza i voli di linea o charter possono stanziare nella zona cargo o viceversa; in caso di bisogno può essere utilizzata anche la zona per i privati.

I passeggeri raggiungono l'aereo trasportati da pullman che devono percorrere determinate taxilanes. Tutti i veicoli che attraversano la apron devono seguire tali vie e non è possibile per nessuno attraversarle.

Questa immagine mostra la struttura della runway e le rispettive lunghezze



LDA (Landing Distance Available), ossia la distanza totale disponibile per l'atterraggio;

TORA (Take-Off Run Available), cioè distanza totale disponibile per la corsa a terra in fase di decollo;

TODA (Take-Off Distance Available), TORA più Clearway, ovvero lo spazio aereo disponibile per il decollo;

ASDA (Accelerate-Stop Distance Available), TORA più Stopway, ossia lo spazio per frenare in caso di mancato decollo;

ANALISI DEL PROBLEMA

Il turnaround è un processo di particolare importanza per la funzionalità di un sistema aeroportuale; è necessario ridurre il più possibile i tempi per ottimizzare la capacità dello scalo. Durante questo processo vengono svolte numerose attività, come lo sbarco e l'imbarco dei passeggeri, la pulizia, il rifornimento dell'aereo,...

Dobbiamo preoccuparci innanzitutto di stabilire quali operazioni vengono effettuate, chi le esegue e soprattutto in che ordine devono avvenire; dobbiamo chiederci quando possono succedere contemporaneamente e quando invece non è possibile.

Le operazioni che vengono eseguite non sono le stesse per tutti gli aerei ma dipendono dal tipo di velivolo (dalla dimensione), dal tipo di volo (linea, charter, ...) , dalla compagnia che effettua il servizio e dal fatto che non tutti gli aeromobili ripartono una volta terminate tali attività, ma possono rimanere qualche giorno prima di ripartire.

Per determinare la funzionalità dell'aeroporto abbiamo bisogno di alcune variabili che forniscano informazioni sulla tempistica e sull'efficienza del sistema.

Le variabili di interesse per il nostro studio sono:

- il tempo totale di turnaround
- il tempo che un aereo aspetta in coda per un determinato servizio
- eventuali colli di bottiglia

I colli di bottiglia sono quelle operazioni che rallentano tutta la procedura perché se non vengono completate non è possibile passare all'attività successiva.

ATTORI

Gli attori sono coloro che svolgono le operazioni che verranno descritte in seguito. La collaborazione e lo scambio di informazioni tra essi sono alla base di un buon operato.

Aeroporto: Valerio Catullo di Villafranca di Verona

Catering companies: SERVAIR AIR CHEF

Fuelling companies: AGIP e TAMOIL

Cargo companies: Il Cargo Center dispone di pedane mobili, piattaforme elevatrici, fosse di caricamento, pesi, che consentono di ottimizzare le operazioni di carico-scarico, palettizzazione-spalettizzazione, distribuzione.

Flight deck: è la squadra in cabina di comando: il pilota e il copilota ed eventualmente una terza persona.

Ground handling companies: a Villafranca è presente una sola ditta di handling che svolge anche il servizio di pulizia e carico-scarico bagagli.

TWR: la torre di controllo ha la responsabilità di gestire i flussi sulle runways, le partenze e gli atterraggi

ATTIVITA'

Anti-collision light: mostrano quando il velivolo è in movimento e/o quando i motori sono accesi. Quando sono accese nessuno può sostare sulla apron nelle vicinanze dell'aereo. (flight deck)

ATC clearance: il pilota contatta la torre di controllo per lo spazio di partenza. (altezza, angolo, ...) e per lo spazio per accendere i motori. (TWR)

Boarding/Deboarding: imbarco e sbarco dei passeggeri. (ground handling companies)

Catering: fornitura di cibo e bevande sul velivolo. (catering companies)

Check of A/C system: controllo dei sistemi del velivolo da dentro la cabina. (flight deck)

Chocks: posizionamento dei blocchi sulle ruote per impedire che l'aereo si muova. (ground handling companies)

Cleaning: pulizia del velivolo tra un volo e l'altro. (cleaning companies)

FMS (Flight Management System): è l'inserimento nel sistema dei dati dell'aereo e della rotta da effettuare. (flight deck)

Fuelling: rifornimento di carburante tra un volo e l'altro. (fuel companies)

Gatebridge: ponte che permette ai passeggeri di salire e scendere dal velivolo. (ground handling companies)

GPU: Unità di energia a terra che fornisce corrente all'aereo quando è parcheggiato. (ground handling companies)

Index: gli aerei una volta atterrati seguono le vetture di follow me che mostrano loro dove parcheggiare. (ground handling companies)

Load sheet: calcolo dei bagagli caricati, merci e benzina per determinare il peso effettivo e il numero dei passeggeri nelle differenti parti del velivolo. (ground handling companies / flight deck)

Push back: l'aereo esce dal parcheggio sulla apron. (ground handling companies / TWR)

Sanitation: pulizia dei bagni. (cleaning companies)

Take off: corrisponde al decollo dell'aereo. (TWR / flight deck)

Take off performance calculation: calcoli per assicurare la disponibilità della lunghezza della runway, della velocità e del vento. (flight deck)

Taxi: movimento del velivolo tra la apron e la runway. (TWR)

Technical check: ispezione esterna del velivolo prima della partenza. (technician companies)

Touch down: atterraggio dell'aereo. (TWR / flight deck)

Trim weight and balance: con le informazioni del load sheet e del peso il pilota orienta le alette nella posizione ottimale per il decollo. (flight deck)

Unload/Load baggage: scarico e carico dei bagagli. (ground handling companies)

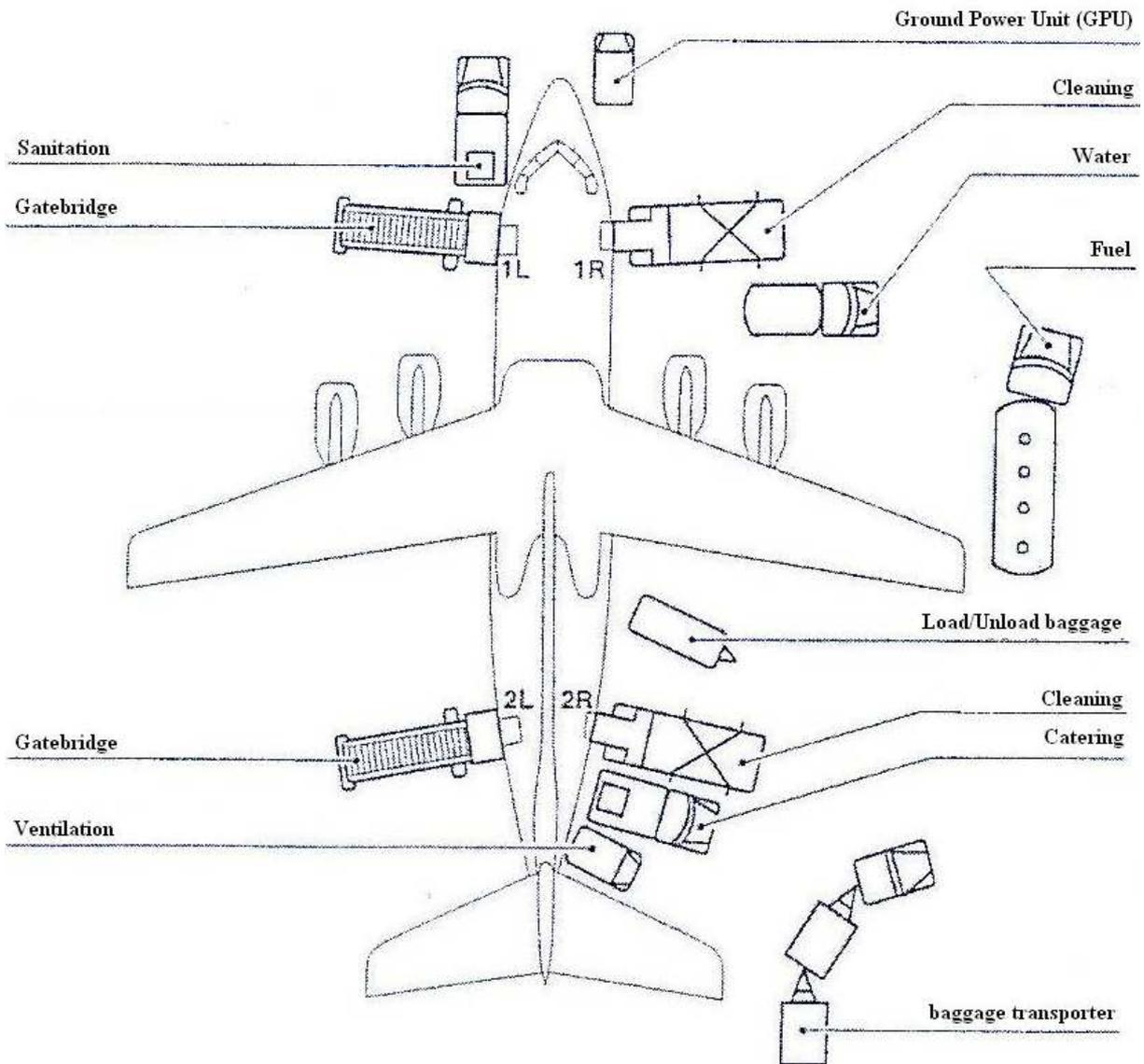
Water: un apposito veicolo fornisce acqua fresca all'aereo. (ground handling companies)

Ventilation: l'aereo viene fornito di aria da un apposito veicolo di terra. (ground handling companies)

WX: il pilota controlla le condizioni meteorologiche per il decollo. (flight deck)

La figura sottostante mostra la posizione dei veicoli di terra mentre sono in servizio presso un aeromobile.

2.1.10 GROUND SUPPORT EQUIPMENT POSITIONING BAE 146-300



ORDINE DELLE ATTIVITA'

La tabella sottostante mostra per ogni attività le operazioni precedenti e quelle successive.

Attività precedenti	Attività	Attività successive
	Touch down	Taxi in
Touch down	Taxi in	Index
Taxi in	Index	GPU on
Index	GPU on	Chocks on
GPU on	Chocks on	Anti-collision light on
Chocks on	Anti-collision light on	Gate bridge on Unload baggage FMS Wingmarks on Ventilation on Water Technical check
Anti-collision on	Gate bridge on	Deboarding
Anti-collision on	Unload baggage	Load baggage
Anti-collision on	FMS	WX
Anti-collision on	Wingmarks on	Wingmarks off
Anti-collision on	Ventilation on	Ventilation off
Anti-collision on	Water	Sanitation
Water	Sanitation	Wingmarks off Ventilation off
Anti-collision on	Technical check	Wingmarks off Ventilation off
Gate bridge on	Deboarding	Catering Cleaning Fuel
Unload baggage	Load baggage	Load sheet
FMS	WX	Take off performance calculation
Deboarding	Catering	Boarding
Deboarding	Cleaning	Boarding
Deboarding	Fuel	Boarding
Catering Cleaning Fuel	Boarding	Gate bridge off Load sheet
Boarding Load baggage ATC Clearance	Load sheet	Trim weight and balance
WX	Take off performance calculation	ATC Clearance
Boarding	Gate bridge off	Wingmarks off Ventilation off

Take off performance calculation	ATC Clearance	Load sheet
Load sheet	Trim weight and balance	Wingmarks off Ventilation off
Wingmarks on Ventilation on Sanitation Technical check Gate bridge off Trim weight and balance	Wingmarks off	Chocks off GPU off
Ventilation on Wingmarks on Sanitation Technical check Gate bridge off Trim weight and balance	Ventilation off	Chocks off GPU off
Wingmarks off Ventilation off	Chocks off	Anti-collision light off
Wingmarks off Ventilation off	GPU off	Anti-collision light off
Chocks off GPU off	Anti-collision light off	Push back
Anti-collision light off	Push back	Taxi out
Push back	Taxi out	Take off
Taxi out	Take off	

Ci sono operazioni che possono essere eseguite in parallelo, altre invece devono aspettare il completamento di precedenti attività.

L'ordine delle prime operazioni è semplice: l'aereo atterra, percorre la taxiway, raggiunge la apron dove parcheggia e spegne le luci di anti-collisione.

Successivamente vengono messi i blocchi alle ruote, viene spento il motore e viene allacciato il generatore di energia per fornire corrente (GPU).

A questo punto si verificano più azioni contemporaneamente: mentre viene acceso l'impianto di aerazione e vengono sistemati i coni sotto le ali per impedire che qualcuno possa passarci sotto, vengono portati dei gatebridges (generalmente due) per far scendere i passeggeri.

Nel frattempo si può iniziare a scaricare i bagagli, a fornire acqua all'aeromobile, a effettuare la verifica esterna del velivolo e si può iniziare l'FSM per il prossimo volo.

Queste operazioni vengono completate solo se sono disponibili uomini e mezzi incaricati di svolgere questi lavori.

Se non ci sono risorse disponibili un velivolo dovrà aspettare che qualcun'altro completi l'attività in modo da liberare il fornitore del servizio.

Solo dopo aver agganciato i gatebridges i passeggeri possono iniziare a scendere, e solo una volta che sono scesi tutti si può iniziare la pulizia dell'aereo, il servizio di catering e il rifornimento. Per ragioni di sicurezza non si può fare carburante finché sull'aereo sono presenti passeggeri. Una volta completate queste tre operazioni si può procedere all'imbarco di nuovi passeggeri. Completato l'imbarco si rimuovono i gatebridges.

Dopo aver scaricato i bagagli vengono caricati quelli nuovi e solo dopo aver caricato acqua si possono pulire i bagni. Nel frattempo si procede con l'attività di FMS, quella di WX e successivamente il Take off performance calculation, solo poi L'ATC clearance.

Con il completamento di quest'ultima e dopo aver imbarcato bagagli e passeggeri si può compilare il load sheet per il viaggio. Il load sheet permette di compiere al pilota l'operazione di trim weight and balance. A questo punto l'aereo è quasi pronto per la partenza, vengono così prima tolti i coni da sotto le ali e poi spento l'impianto di aerazione. Successivamente vengono levati i blocchi dalle ruote, staccato il generatore e messo in moto.

Una volta accese le luci di anti-collisione il velivolo può uscire dal parcheggio e immettersi sulla taxiway accedendo così alla pista per decollare.

ANALISI DEL MODELLO

Finora abbiamo considerato le operazioni svolte dagli aerei durante il turnaround ma non abbiamo ancora fatto una distinzione tra i tipi di aerei. Non tutti i voli seguono la medesima procedura e impiegano lo stesso tempo per svolgere le attività.

Una prima grossa distinzione va fatta a secondo del tipo di volo. Noi ne consideriamo quattro:

- voli di linea
- voli charter
- voli cargo
- voli privati

I voli di linea sono quelli gestiti dalle compagnie aeree che vendono i biglietti ai privati. Quelli charter invece sono voli venduti interamente ad agenzie di viaggio, squadre di calcio, o altri enti. I posti su questi aerei sono gestiti dalle aziende che ne prenotano il volo. I cargo sono aerei adibiti al trasporto unicamente di merci, quelli privati sono generalmente piccoli velivoli di proprietà di singoli.

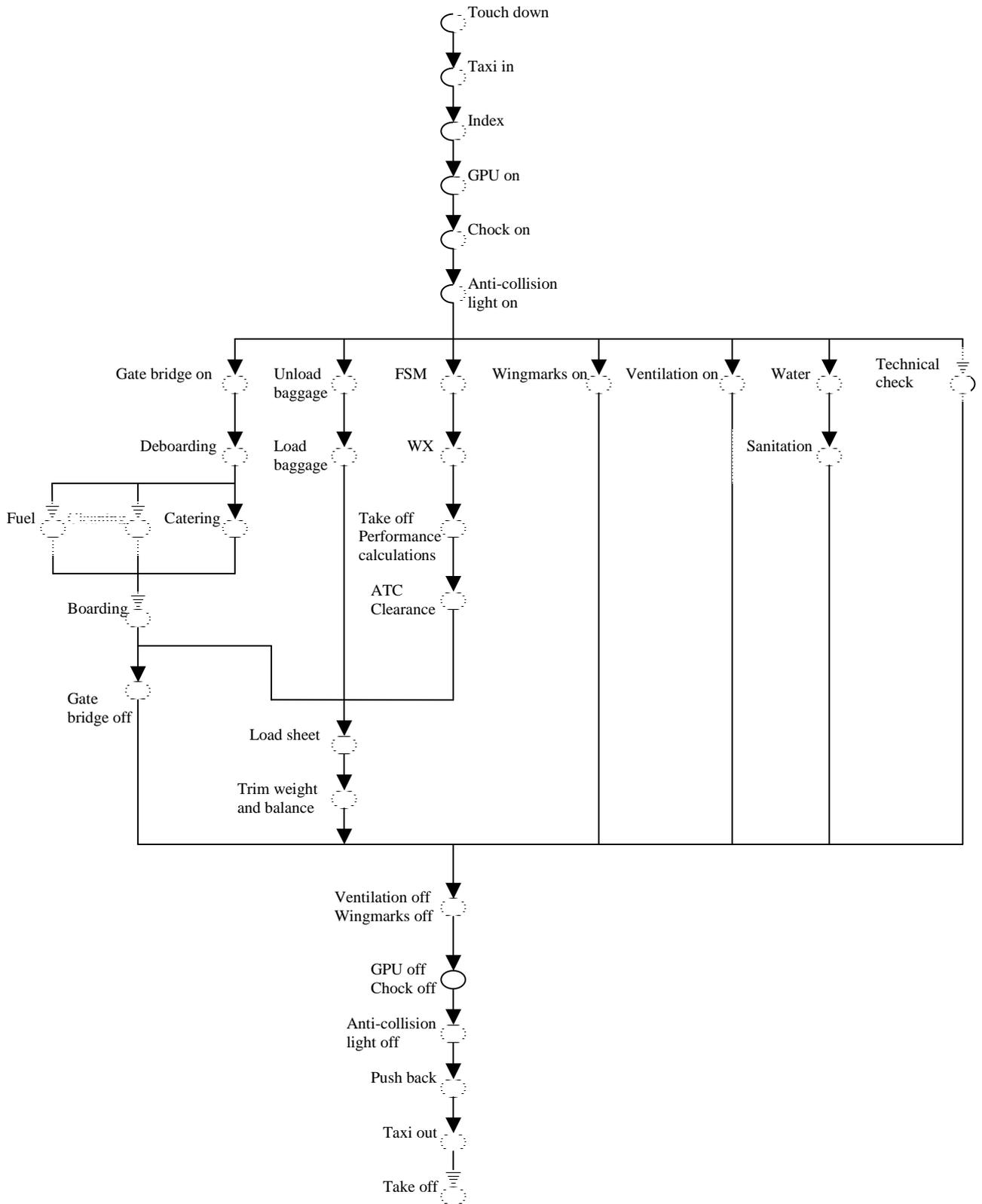
Una seconda distinzione va fatta per la dimensione degli aerei. In base alla grandezza e al numero dei posti le operazioni possono subire notevoli variazioni di tempo. Noi classifichiamo i velivoli in tre categorie:

- Hight
- Medium
- Small

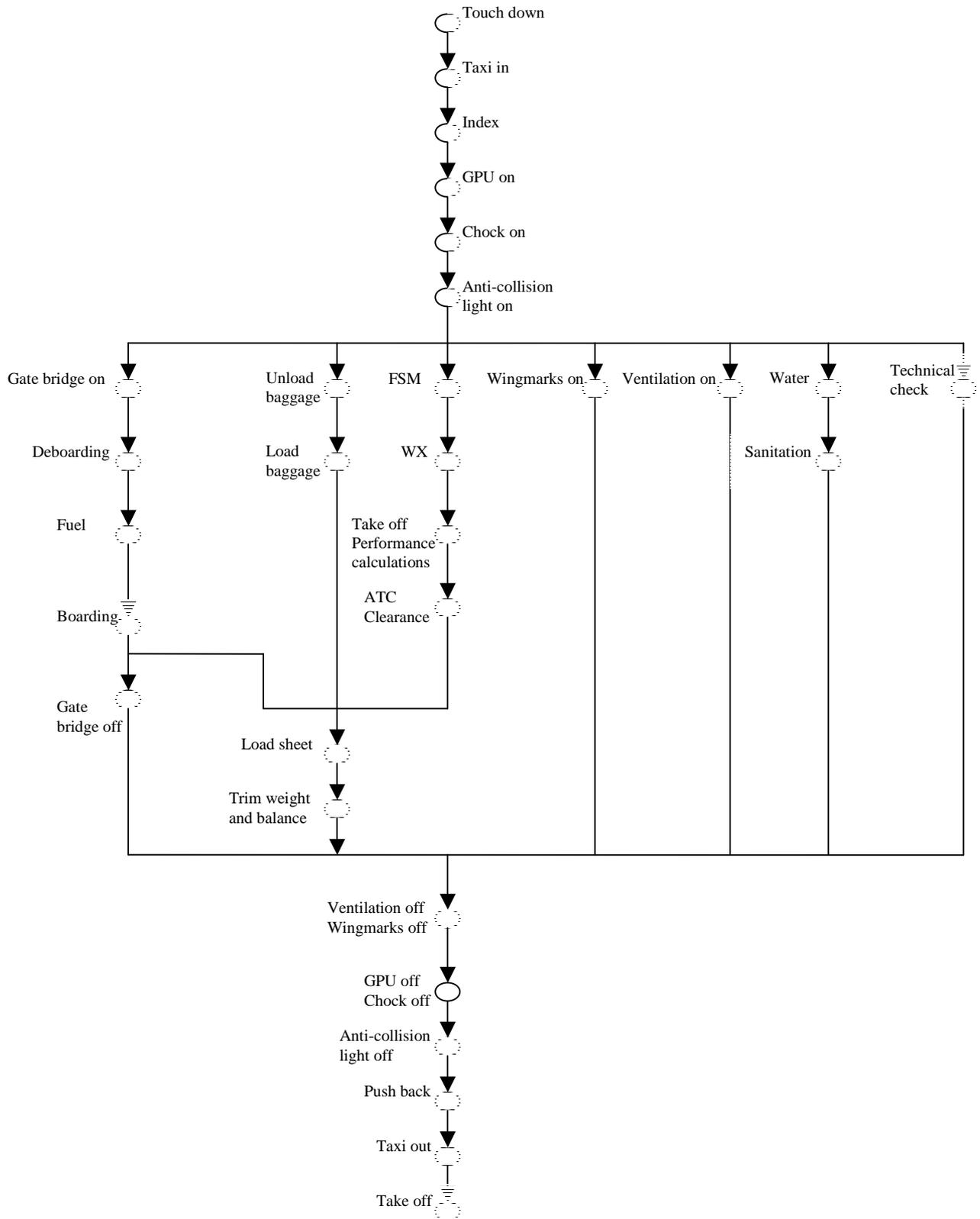
I voli di linea e i voli charter sono molto simili in quanto compiono le medesime operazioni. Per i cargo e i privati invece ci sono notevoli differenze.

Riportiamo ora degli schemi che descrivono le attività svolte dai vari tipi di voli.

Turnaround per voli di linea e charter



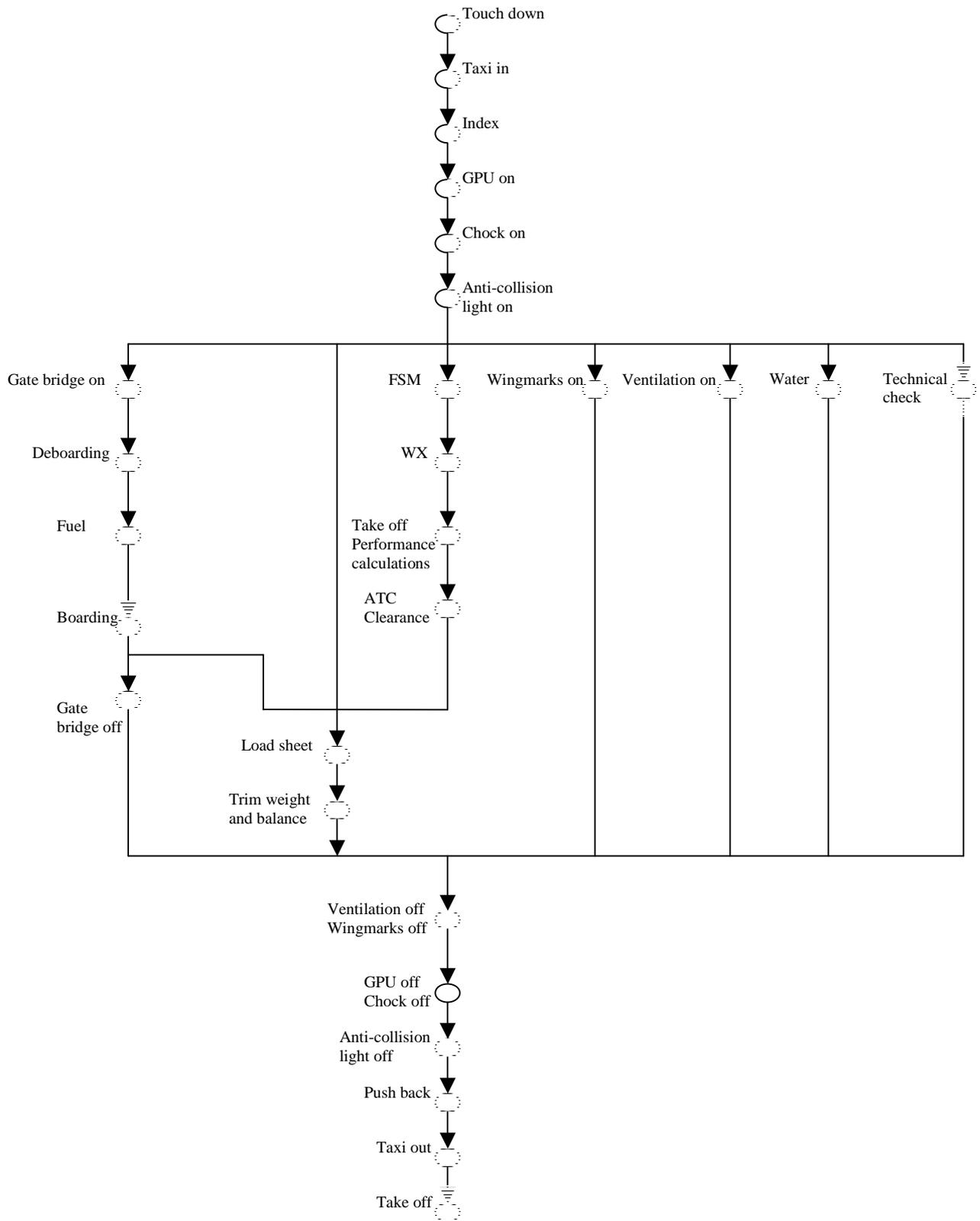
Il prossimo schema illustra la sequenza di operazioni per i voli cargo



Nei voli cargo non compaiono le operazioni di Cleaning e di Catering, infatti non sono previste squadre di operatori addette a compiere queste attività. Inoltre altre operazioni come l'imbarco e lo sbarco dei passeggeri, che in questo caso si tratta solo

dell'equipaggio, vengono ricoperte in tempi minori rispetto a un qualunque volo di linea. L'operazione di carico e scarico merci al contrario risulterà più lunga rispetto agli altri tipi di voli.

Il prossimo schema illustra la sequenza di operazioni per un volo privato

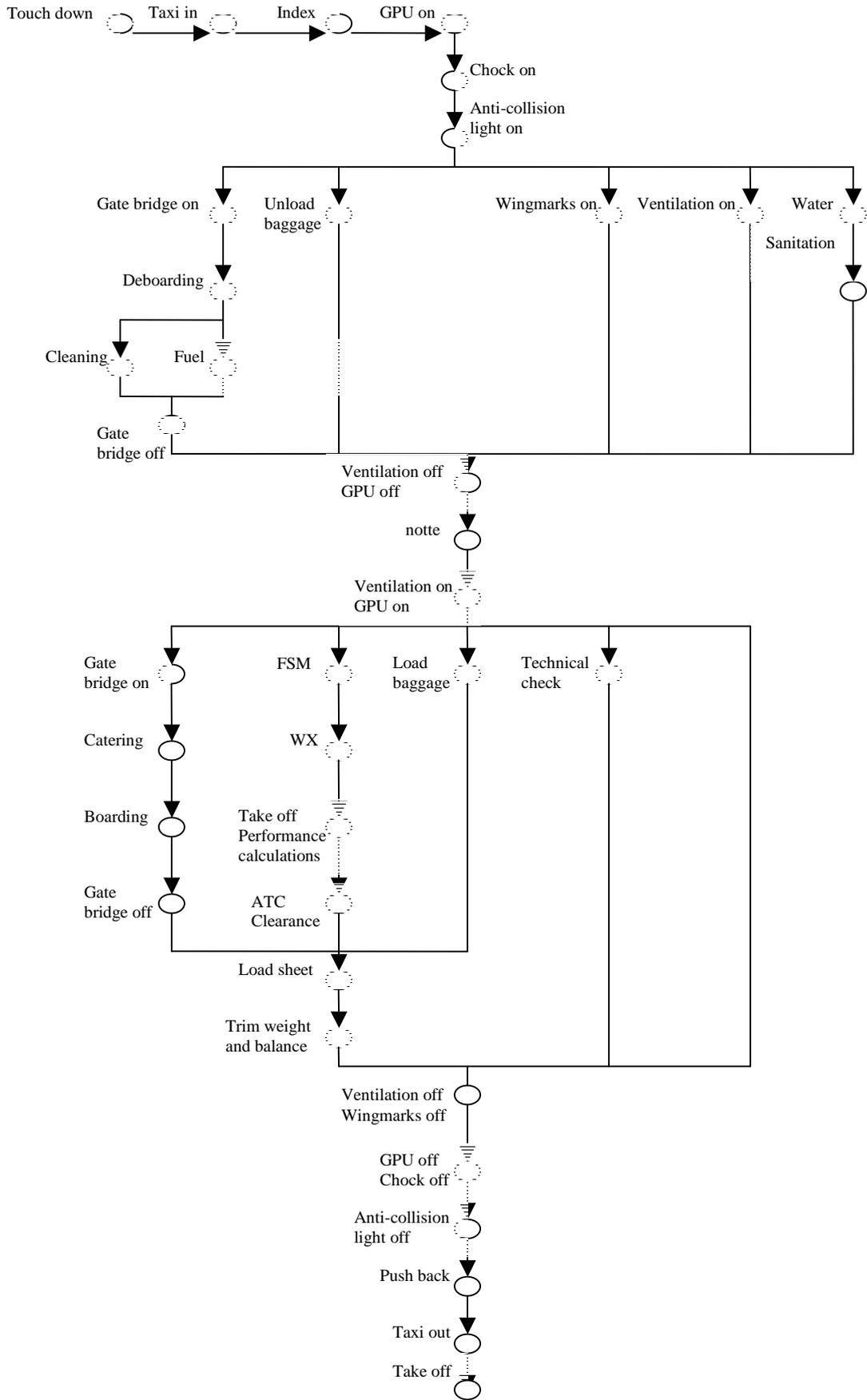


Per i voli privati oltre a non essere previsto un servizio di Catering e di Cleaning non compare neanche quello per lo scarico e il carico dei bagagli, né tanto meno la pulizia dei bagni. Anche in questo caso i tempi subiranno notevoli variazioni.

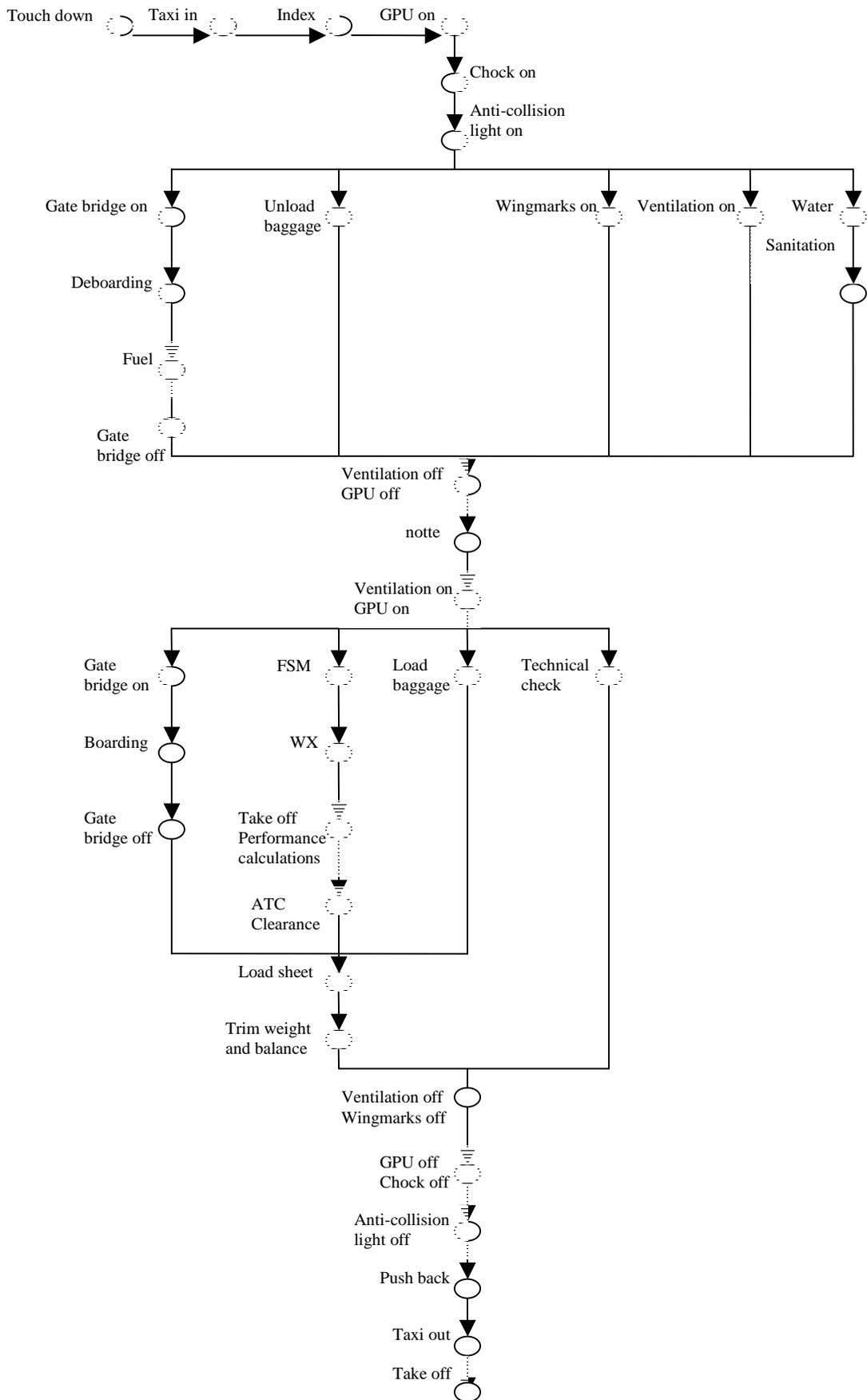
Non abbiamo ancora considerato che alcuni aerei quando arrivano la sera tardi non ripartono subito, ma si fermano la notte e decollano solo il mattino o il pomeriggio seguente; oppure che il piano di volo stesso può prevedere che un aeromobile resti fermo un giorno o due nell'aeroporto prima di ripartire. In questi casi gli aeroplani rimangono parcheggiati sulla apron sino al momento della partenza.

Gli aerei che si fermano durante la notte non seguono l'iter di operazioni che abbiamo analizzato prima ma vengono rimandate per ovvi motivi al giorno seguente. I prossimi schemi mostrano le operazioni dei vari tipi di aerei che rimangono sul posteggio per una sosta prolungata.

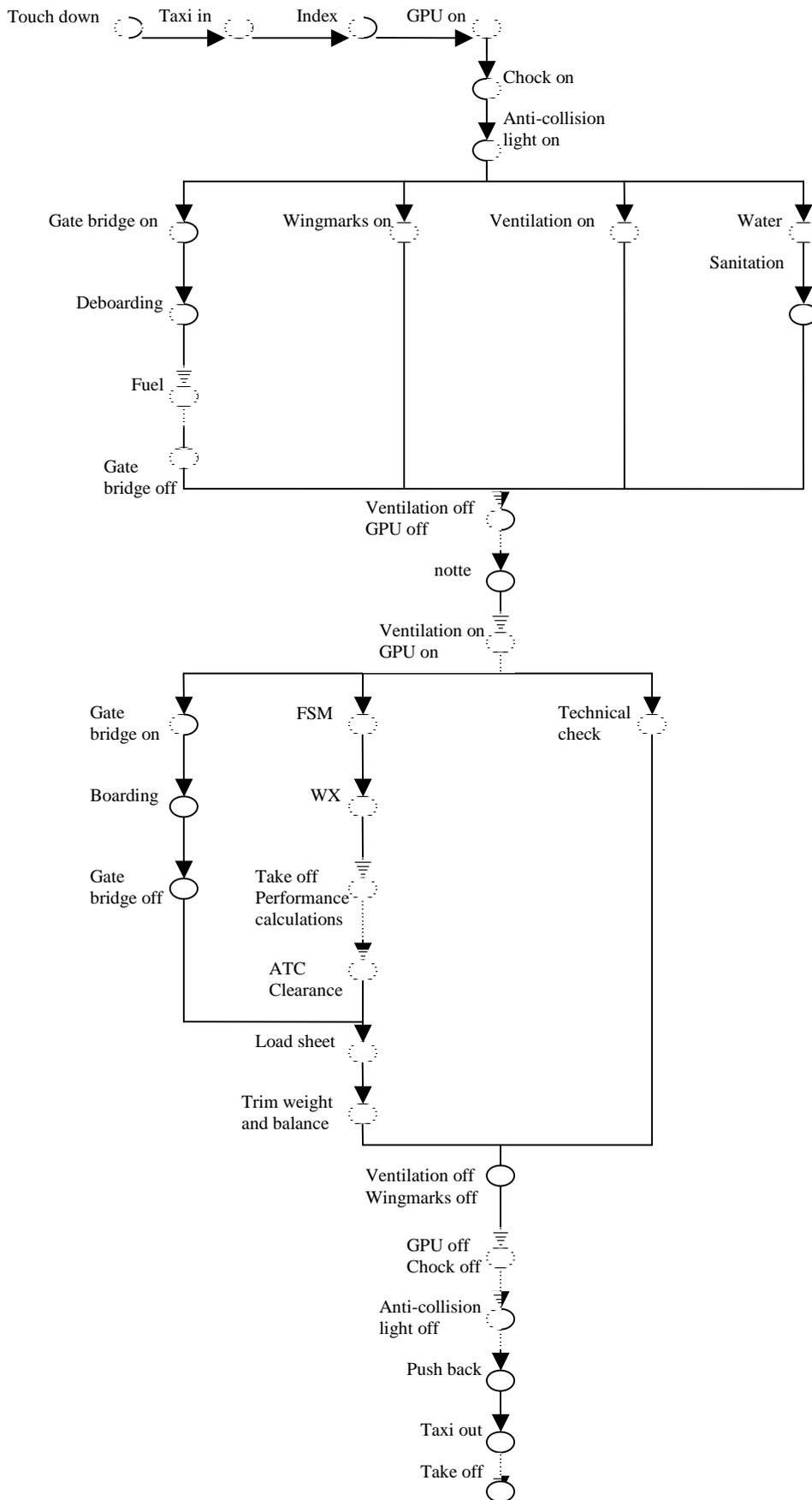
Turnaround per voli di linea e charter che effettuano la sosta:



Turnaround per voli cargo che effettuano una sosta lunga



Turnaround per voli privati che effettuano una sosta lunga



TEMPI DELLE OPERAZIONI

Mostriamo ora una tabella che riporta i tempi necessari a ciascun tipo di aereo per compiere le operazioni indicate. I tempi dipendono dal tipo di volo e dalla dimensione dell'aereo.

TEMPISTICA DELLE OPERAZIONI

Operazione	linea			cargo			privati			sqm
	S	M	H	S	M	H	S	M	H	
Touch down	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	
Taxi in	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0,5
Index	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
Gpu on	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Chocks on	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Anti-collision on	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Gate bridge on	1	1,2	1,5	1	1,2	1,5	1	1,2	1,5	0,3
Unload baggage	5	7	9	10	15	20				2
FMS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5
Per. calculation	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
WX	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5
ATC clearance	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1
Wing-marks on	0,5	0,7	1	0,5	0,7	1	0,5	0,7	1	
Ventilation on	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Water	2	3	4	2	3	4	2	3	4	1
Sanitation	2	4	5	2	4	5				0,5
Technical check	1,5	2	2,5	1,5	2	2,5	1,5	2	2,5	0,5
De-boarding	4	7	10	1,5	1,5	1,5	1	1,2	1,5	1,5
Catering	2	3,5	5							0,5
(charter)	1	1,5	2							0,5
(internazionale)	3	4,5	6							0,5
Cleaning	3	5	7							1
Fuel	8	10	12	8	10	12	8	10	12	2
(internazionali)	12	16	20	12	16	20	12	16	20	2
Baggage load	5	7	9	10	15	20				2
Load sheet	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,5
Gate bridge off	1	1,2	1,5	1	1,2	1,5	1	1,2	1,5	0,3
Trim weight and b.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Ventilation off	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Wing-marks off	0,5	0,7	1	0,5	0,7	1	0,5	0,7	1	
Chocks off	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Gpu off	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Push Back	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	0,2
Taxi out	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,5

La tempistica delle operazioni è uno degli aspetti più importanti per il nostro modello e si è cercato di restare il più vicino possibile alla realtà.

Per alcune operazioni è bastato andare in aeroporto con un cronometro e misurare direttamente i tempi impiegati dagli operatori; per altre ciò non è stato possibile, ma grazie all'aiuto del personale dell'aeroporto siamo riusciti ad avere un quadro generale della situazione.

Alle attività più semplici è stato assegnato un tempo costante, come per l'FMS, per il Take off performance calculation, per il load sheet, per il GPU e per altre ancora dove il tipo di aereo non influenzava il lavoro degli operatori.

Il tempo delle altre operazioni varia a seconda della dimensione dell'aeromobile, del tipo e della provenienza del volo. Il catering ad esempio viene effettuato solo su voli di linea e charter, a quest'ultimi sono stati assegnati tempi minori perché molte compagnie low cost caricano il rifornimento di cibo e bevande solo una volta al giorno. Ai voli internazionali al contrario sono stati assegnati valori più grandi perché ci si aspetta un consumo maggiore.

Anche per il rifornimento di carburante si è fatta distinzione per la dimensione dei velivoli e la loro destinazione, abbiamo ipotizzato che per viaggi internazionali fosse necessario caricare più carburante che per un volo nazionale.

Nel nostro programma i tempi vengono trasformati in distribuzioni normali con media pari ai valori riportati dalla tabella e scarto quadratico medio pari alla colonna sqm.

Abbiamo scelto delle distribuzioni normali perché ci sembrava rappresentassero al meglio il fenomeno potendo inserire anche la variabilità dovuta al fattore umano. Per quelle operazioni in cui non c'è nessun valore nell'ultima colonna abbiamo impostato un tempo costante.

PROGRAMMA

A questo punto dobbiamo trascrivere il nostro modello in Micro Saint.

Un primo grande problema deriva dal fatto che non è possibile con la nostra versione del programma dare in input un piano di volo, infatti Micro Saint non permette di ricevere nessun dato in ingresso e nemmeno una lettura su file. Un'alternativa plausibile sarebbe quella di scegliere la distribuzione di una variabile casuale per generare l'arrivo degli aerei da utilizzare nel nostro modello. Questo metodo però non ci sembrava molto efficiente in quanto la generazione, anche se "controllata", era pur sempre un evento casuale. Il nostro obiettivo era invece di partire con un vero piano di volo per rendere il sistema il più reale possibile. Inoltre, in questo modo, abbiamo la possibilità di variare i dati in ingresso e vedere come si comporta il nostro modello. Abbiamo deciso di utilizzare un altro programma che faccia da tramite tra il piano di voli e Micro Saint. Utilizzeremo quindi C++ per scrivere un programmino che riceva in input un file di testo contenente le informazioni di un vero piano di volo e restituisca un altro file di testo contenente le stesse informazioni, ma memorizzate in opportune variabili che Micro Saint riuscirà ad interpretare come tali. Fatto ciò sarà sufficiente ricopiare il contenuto del secondo file in una delle task del programma di simulazione.

La durata della simulazione durerà un'intera settimana più due giorni iniziali e due finali, che però non rientreranno nel nostro studio, infatti servono solo al programma per poter entrare in pieno regime evitando alcuni fastidi che altrimenti potrebbero crearsi. Abbiamo quindi bisogno di un piano di volo per undici giorni. Siamo andati sul sito dell'aeroporto Catullo (www.aeroporto.verona.it) per ricavare gli arrivi e le partenze giornalieri ottenendo così quello di cui avevamo bisogno.

Le informazioni presenti sul piano di volo devono riguardare:

- il giorno e l'ora di arrivo previsti
- il giorno e l'ora di partenza previsti
- la provenienza del volo (nazionale o internazionale)
- la dimensione dell'aereo (suddivisa in tre classi: High, Medium e Small)
- il tipo di volo (linea, charter, cargo, privato)
- la compagnia di handling
- la compagnia di fuel
- l'ora di arrivo effettiva

Il file contenete il piano di volo avrà bisogno quindi di 10 variabili:

1 e 3) il giorno di arrivo e quello di partenza saranno valori compresi da 1 a 11

2 e 4) l'ora di arrivo e l'ora di partenza saranno date in 24 ore nella forma hh:mm

5) la provenienza del volo sarà:

- 1 per un volo nazionale
- 0 per uno internazionale

6) la dimensione dell'aereo sarà:

- 1 per un aereo Hight
- 2 per un aereo Medium
- 3 per un aereo Small

7) il tipo di volo sarà:

- 0 per un volo linea
- 1 per un volo di charter
- 2 per un volo cargo
- 3 per un volo privato

8) la compagnia di handling sarà:

- 0 per la compagnia A
- 1 per la compagnia B

(gli aerei privati sono generalmente molto piccoli e non richiedono un vero e proprio servizio da parte di una compagnia)

9) la compagnia di fuel sarà:

- 0 per la compagnia AGIP
- 1 per la compagnia TAMOIL

10) il ritardo previsto in formato ora

Il file piano.txt avrà in definitiva un aspetto di questo genere:

```
1 8:45 1 9:30 0 2 0 0 0 8:50
1 10:20 1 11:30 1 1 1 0 0 11:00
1 15:11 2 16:05 0 3 3 2 1 15:21
1 16:12 1 17:15 1 2 2 1 1 16:15
.....
```

Questo esempio rappresenta cinque voli:

- il primo è un volo di linea nazionale che arriva alle 8:45 con 5 minuti di ritardo e riparte alle 9:30, l'aereo è di tipo M e ha per compagnia di handling la A e di carburante l'Agip.
- il secondo è un volo charter internazionale di grosse dimensioni che arriva alle ore 10:20 con 40 minuti di ritardo e riparte alle ore 11:30. Sempre la A e Agip come compagnie.
- il terzo è un volo privato nazionale di piccole dimensioni che arriva alle ore 15:11 con dieci minuti di ritardo e riparte alle ore 16:05 del giorno successivo. Il carburante è della Tamoil.
- Il quarto volo è un cargo internazionale di medie dimensioni che atterra alle 16:15 con 3 minuti di anticipo. Ha come handling la compagnia B a come fuel la Tamoil.

Il file che restituisce il programma C++ sarà il file micro.txt e conterrà queste informazioni memorizzate in una matrice chiamata aereo:

- l'ora di arrivo espressa in minuti (lo 0 indica la mezzanotte del primo giorno e 15840 indica le 11:59 dell'undicesimo giorno)
- l'ora di partenza espressa sempre in minuti
- la provenienza
- la dimensione del velivolo
- il tipo di volo
- se resta o riparte (1 se resta 2 se riparte)
- la compagnia di handling
- la compagnia di fuel
- il ritardo sempre in minuti

Questo è il contenuto delle variabili opportunamente trasformate:

```
525 570 0 2 0 2 0 0 5
620 690 1 1 1 2 0 0 40
911 2405 0 3 3 1 -1 1 10
972 1035 1 2 2 2 1 1 3
.....
```

Si nota come le date siano state trasformate in minuti e il valore -1 compare solo per le compagnie di handling degli aerei privati (infatti essi non necessitano di un servizio per il carico e lo scarico dei bagagli).

E' fondamentale per la buona riuscita del progetto che i voli siano già ordinati in base al giorno e all'ora di arrivo.

Inoltre può accadere che nel piano di volo sia previsto l'arrivo di due o più aerei nello stesso minuto. In questo caso il programma farà scivolare uno o più voli al minuto successivo, infatti non succederà mai che avvengano due atterraggi nello stesso minuto dato che tra un movimento e l'altro sulla pista si deve rispettare un tempo minimo per evitare turbolenze che potrebbero complicare il touch down del secondo aereo.

Si è stabilito che il piano di volo non preveda mai l'atterraggio di due aeromobili nello stesso minuto.

Poiché il file che crea il programma è abbastanza grande non è possibile copiarlo interamente in una sola delle task del programma in Micro Saint. Si è deciso quindi di creare cinque file più piccoli in modo da non avere problemi nella copiatura rischiando di perdere dati.

PROGRAMMA C++

Viene riportato il testo del programma in C++:

```
#include<iostream.h>
#include<conio.h>
#include<fstream.h>
#include<string.h>
#include <stdlib.h>
#include<string>

const int d1=15000;
const int d2=10;
int strtomat(char[50],int[d1][d2],int);
int datatoint(char[6]);

int main(){
    int mat[d1][d2];
    int rig;
    int col;
    int i=0;
    int num;
    char str[2000][50];
    char c;

    fstream F;
    F.open("pianovolo.txt",ios::in);    //apro il file
    if(!F) cout<<"Errore apertura file";
    else{
        F.get(str[i],50,'\n'); //leggo la prima riga
        col=strtomat(str[i],mat,i);
//calcolo le variabili
        while(!F.eof()){
            i++;
            F.get(c);
            F.get(str[i],50,'\n ');
            col=strtomat(str[i],mat,i);
        }
        rig=i+1;
    }
    F.close();    //chiudo il file
    i=0;

//primo file
    F.open("microvolol1.txt",ios::out); //apro il file
    if(!F)
        cout<<"Errore apertura file\n";
    else{

        for(int q=0; (i<rig & q<175); i++ & q++){
            num=mat[i][0]; //calcolo la riga
            for(int j=0; j<col; j++){
```

```

        F<<"aereo["<<j<<","<<num<<"]:=<<mat[
        i][j]<<"; ";
        } //scrivo sul file
    }

}
F.close(); //chiudo il file

//secondo file
F.open("microvolo2.txt",ios::out); //apro il file
if(!F)
    cout<<"Errore apertura file\n";
else{

    for(int q=0; (i<rig & q<175); i++ & q++){
        num=mat[i][0]; //calcolo la riga
        for(int j=0; j<col; j++){
            F<<"aereo["<<j<<","<<num<<"]:=<<mat[
            i][j]<<"; ";
        } //scrivo sul file
    }

}
F.close(); //chiudo il file

//terzo file
F.open("microvolo3.txt",ios::out); //apro il file
if(!F)
    cout<<"Errore apertura file\n";
else{

    for(int q=0; (i<rig & q<165); i++ & q++){
        num=mat[i][0]; //calcolo la riga
        for(int j=0; j<col; j++){
            F<<"aereo["<<j<<","<<num<<"]:=<<mat[
            i][j]<<"; ";
        }
    }

}
F.close(); //chiudo il file

//quarto file
F.open("microvolo4.txt",ios::out); //apro il file
if(!F)
    cout<<"Errore apertura file\n";
else{

    for(int q=0; (i<rig & q<165); i++ & q++){
        num=mat[i][0]; //calcolo la riga
        for(int j=0; j<col; j++){
            F<<"aereo["<<j<<","<<num<<"]:=<<mat[
            i][j]<<"; ";
        }
    }

}
}

```

```

        F.close();          //chiudo il file

//quinto file
F.open("microvolo5.txt",ios::out); //apro il file
if(!F)
    cout<<"Errore apertura file\n";
else{

    for(int q=0; (i<rig & q<175); i++ & q++){
        num=mat[i][0]; //calcolo la riga
        for(int j=0; j<col; j++){
            F<<"aereo["<<j<<","<<num<<"]:= "<<mat[
                i][j]<<"; ";
        }
    }

    }
    F.close();          //chiudo il file
getch();
return 0;
}

int strtomat(char str[50], int mat[d1][d2], int k){
    int i=0,t=0,num,giornoa,giornop,arrivo,prima,tot;
    char oraa[6],orap[6],rit[6];
    char ora2[1];

//giorno di arrivo
    ora2[0]=str[i];
    if (ora2[0]=='1'){
        if (str[i+1]!=' '){
            ora2[1]=str[i+1];
            ora2[2]='\0';

            i++;
        }
        else
            ora2[1]='\0';
    }
    else
        ora2[1]='\0';

    giornoa=atoi(ora2);
    if(giornoa<1 || giornoa>11) //controllo sul giorno
        giornoa=11;
//ora di arrivo
    for(i+=2; i<50; i++ & t++){
        if(str[i]==' ')
            break;
        else
            oraa[t]=str[i];
//estraggo l'ora di arrivo
    }
    oraa[t]='\0'; //la trasformo in stringa
    mat[k][0]=datatoint(oraa)+(giornoa-1)*1440;

//giorno di partenza

```

```

        i+=1;
        ora2[0]=str[i];
        if (ora2[0]=='1'){
            if (str[i+1]=='1' || str[i+1]=='2' ||
str[i+1]=='0'){
                ora2[1]=str[i+1];
                ora2[2]='\0';
                i++;
            }
            else
                ora2[1]='\0';
        }
        else
            ora2[1]='\0';

        giornop=atoi(ora2);
        if(giornop<1 || giornop>11) //controllo sui valori
            giornop=1;
        t=0;
//ora partenza
        for(i+=2; i<50; i++ & t++){
            if(str[i]==' ')
                break;
            else
                orap[t]=str[i];
//estraggo l'ora di partenza
        }
        orap[t]='\0'; //la trasformo in stringa
        mat[k][1]=datatoint(orap)+(giornop-1)*1440;

//provenienza
        i+=1;
        ora2[0]=str[i];
        ora2[1]='\0';
        num=atoi(ora2);
        if(num==1 || num==0) //controllo sui valori
            mat[k][2]=num;
        else
            mat[k][2]=1;

//dimensione aereo
        i+=2;
        ora2[0]=str[i];
        ora2[1]='\0';
        num=atoi(ora2);
        if (num==1 || num==2 || num==3)
            mat[k][3]=num;
        else
            mat[k][3]=2;

//tipo di volo
        i+=2;
        ora2[0]=str[i];
        ora2[1]='\0';
        num=atoi(ora2);
        if(num==0 || num==1 || num==2 || num==3)
            mat[k][4]=num;

```

```

else
    mat[k][4]=1;

//compagnia di handling
i+=2;
ora2[0]=str[i];
ora2[1]='\0';
num=atoi(ora2);
if(mat[k][4]==3)
    mat[k][6]=-1;
else
{
    if(num==0 || num==1)
        mat[k][6]=num;
    else
        mat[k][6]=1;
}

//compagnia di fuel
i+=2;
ora2[0]=str[i];
ora2[1]='\0';
num=atoi(ora2);
if(num==0 || num==1) //controllo sui valori
    mat[k][7]=num;
else
    mat[k][7]=1;

//ritardo in arrivo
i+=2;
t=0;
for(; i<50; i++ & t++){
    if(str[i]==' ')
        break;
    else
        rit[t]=str[i]; //estraggo l'ora
}
rit[t]='\0'; //la trasformo in stringa
arrivo=datatoint(rit)+(giornoa-1)*1440;
if (mat[k][0]<arrivo){
    mat[k][8]=arrivo-mat[k][0];
}
else{
    mat[k][8]=0;
    mat[k][0]=arrivo;
}

//controllo che due aerei non arrivino lo stesso minuto sia per
//l'ora di arrivo sia con l'ora dei ritardi

if (k>=1){ // controllo sull'ora di arrivo
    if(mat[k][0]<=mat[k-1][0]){
        prima=mat[k][0];
        mat[k][0]=mat[k-1][0]+1;
        if(mat[k][8]>(mat[k][0]-prima))
            mat[k][8]=mat[k][8]-(mat[k][0]-
prima);
    }
}

```

```

    }
//calcolo i tempi per la sosta
    if (mat[k][3]==1)
        tot=78;
    else
        if (mat[k][3]==2)
            tot=68;
        else
            tot=48;

    if ((mat[k][1]-(mat[k][0]+mat[k][8]))>tot)
// controllo durata sosta
        mat[k][5]=1;
    else
        mat[k][5]=2;

return 9;          //ritorna il numero di variabili
}

//funzione che trasforma un stringa contenente una data in un
//intero che contiene i minuti dalla mezzanotte del primo dì

int datatoint(char str[6]){
    char ora[3]; //
    int num;
    ora[0]=str[0];
    ora[1]=str[1];
    ora[2]='\0';
    num=atoi(ora);
    if(ora[1]==':'){
        ora[0]=str[2];
        ora[1]=str[3];
        ora[2]='\0';
    }
    else{
        ora[0]=str[3];
        ora[1]=str[4];
        ora[2]='\0';
    }
    num=num*60+atoi(ora);
    return num;
}

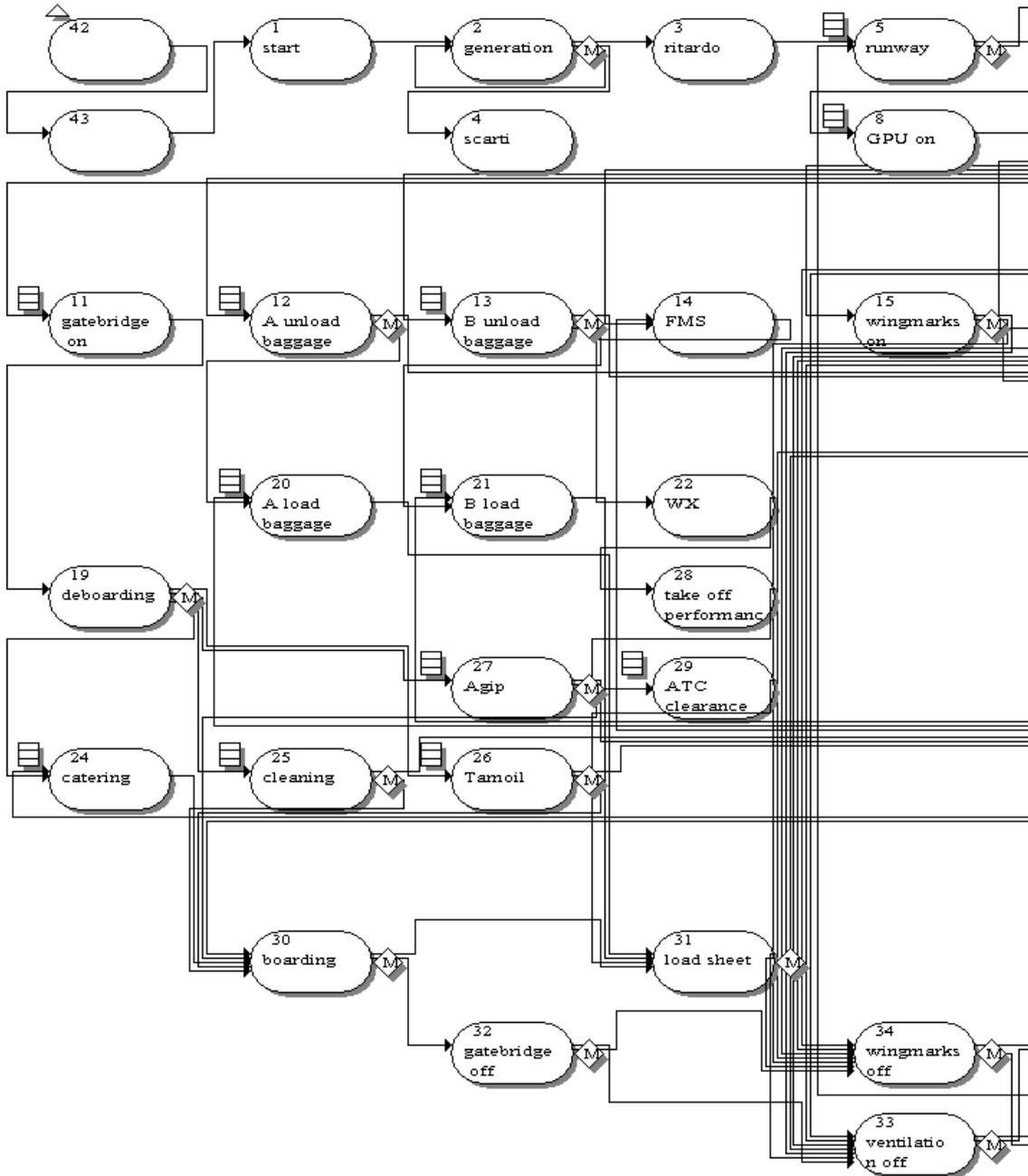
```

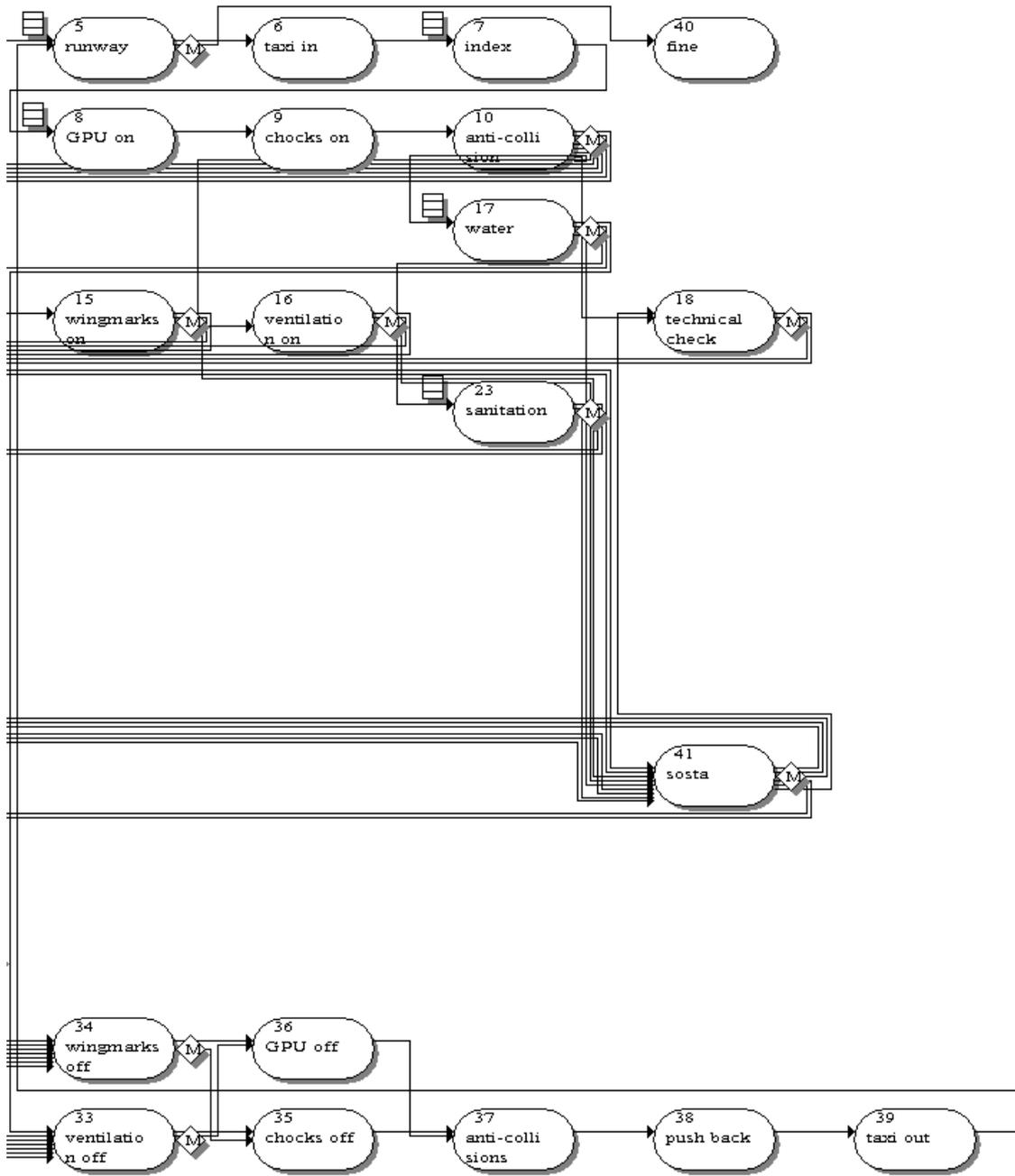
Questo programma genererà cinque file di testo che compariranno così:

```
aereo[0,525]:=525; aereo[1,525]:=570; aereo[2,525]:=0; aereo[3,525]:=2;
aereo[4,525]:=0; aereo[5,525]:=2; aereo[6,525]:=0; aereo[7,525]:=0; aereo[8,525]:=5;
aereo[0,620]:=620; aereo[1,620]:=690; aereo[2,620]:=1; aereo[3,620]:=1;
aereo[4,620]:=1; aereo[5,620]:=2; aereo[6,620]:=0; aereo[7,620]:=0; aereo[8,620]:=40;
aereo[0,911]:=911; aereo[1,911]:=2405; aereo[2,911]:=0; aereo[3,911]:=3;
aereo[4,911]:=3; aereo[5,911]:=1; aereo[6,911]:=-1; aereo[7,911]:=1; aereo[8,911]:=10;
aereo[0,972]:=972; aereo[1,972]:=1035; aereo[2,972]:=1; aereo[3,972]:=2;
aereo[4,972]:=2; aereo[5,972]:=2; aereo[6,972]:=1; aereo[7,972]:=1; aereo[8,972]:=3;
```

In pratica vengono memorizzate le informazioni sui voli in una matrice aereo dove il primo indice identifica la variabile mentre il secondo identifica l'aereo. L'aereo viene identificato dal minuto in cui è previsto il suo arrivo.

PROGRAMMA MICRO SAINT





LE VARIABILI

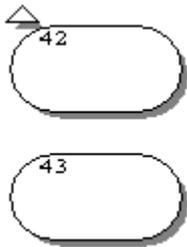
Le variabili utilizzate sono le seguenti:

clock	rappresenta il tempo nella simulazione (in minuti)
quanti	conta il numero di aerei
ok	indica se un evento è un velivolo oppure no
tag	contatore degli eventi
s	vettore contenete il numero di serventi
aereo	matrice contenete i tempi
m	vettore contenente il numero massimo di serventi utilizzati nella simulazione

s[0]	numero di parcheggi
s[1]	numero di gatebridges
s[2]	numero di squadre per la compagnia di handling A
s[3]	numero di squadre per la compagnia di handling B
s[4]	numero delle squadre di catering
s[5]	numero delle squadre di cleaning
s[6]	numero delle squadre di sanitation
s[7]	numero camino di carburante dell'Agip
s[8]	numero camino di carburante della Tamoil
s[9]	numero di GPU
s[10]	numero delle squadre di water
s[11]	numero di operatori della torre di controllo

LE TASK

Task 42 e 43:



le prime due task servono per memorizzare i contenuti dei file micro1.txt, micro2.txt, micro3.txt e micro4.txt nel beginnig e nell'ending effect.

Task 1:



la task serve per definire le variabili del programma.

Beginnig effect: qui vengono memorizzati nel vettore s il numero di serventi per le diverse attività e il vettore m viene posto pari al vettore s.

Inoltre viene impostata la priorità degli aeromobili dentro la variabile [10,tag].

```
s[0]:=50;   s[1]:=50;   s[2]:=50;   s[3]:=50;   s[4]:=50;   s[5]:=50;
s[6]:=50;   s[7]:=50;   s[8]:=50;   s[9]:=50;   s[10]:=50;  s[11]:=50;
s[12]:=1;   m[0]:=s[0];  m[1]:=s[1];  m[2]:=s[2];  m[3]:=s[3];  m[4]:=s[4];
m[5]:=s[5]; m[6]:=s[6];  m[7]:=s[7];  m[8]:=s[8];  m[9]:=s[9];
m[10]:=s[10]; m[11]:=s[11];
if (aereo[5,tag]==2) then aereo[10,tag]:=20
else aereo[10,tag]:=16;
aereo[10,tag]:=aereo[10,tag]-aereo[4,tag];
```

esistono 8 valori possibili per la priorità e sono:

per aerei che non effettuano la sosta:

- 20) per un volo di linea
- 19) per un volo charter
- 18) per un volo cargo
- 17) per un volo privato

per aerei che effettuano la sosta:

- 16) per un volo di linea
- 15) per un volo charter
- 14) per un volo cargo
- 13) per un volo privato

Ending effect: qui viene riportato il contenuto del file micro5.txt tramite copia incolla.

Task 2:



la task ogni minuto controlla se sono in arrivo aerei: nel caso ci siano, l'evento prosegue nella task ritardo, altrimenti prosegue in scarti.

Mean Time: viene generato un evento ogni minuto.

1;

Ending effect: in tag conto gli eventi generati, mentre in ok salvo 1 se è in arrivo un aereo e 0 altrimenti.

```
tag+=1;  
if (clock==aereo[0,tag]) then ok:=1 else ok:=0;
```

Routing condition:

Decision Type: multiple

3 ritardo: se la variabile ok ha valore 1 proseguo per ritardo.

```
if (ok==1) then 1 else 0;
```

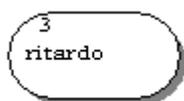
4 scarti: se la variabile ok ha valore diverso da 1 proseguo per scarti.

```
if (ok==1) then 0 else 1;
```

2 generation: continuo a generare eventi per 15840 minuti (11 giorni).

```
clock<15840;
```

Task 3:



la task serve per dare il ritardo corrispondente ad ogni aereo in arrivo.

Mean time: aereo[8,tag];

Beginnig effect: conto gli aerei effettivi.

```
quanti+=1;
```

Task 4:



la task serve per eliminare gli eventi che non corrispondono all'arrivo di un velivolo.

Task 5;



la task rappresenta l'utilizzo della runway da parte dell'aeromobile.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione dell'aereo.

```
if (aereo[3,tag]==1) then 2
else if (aereo[3,tag]==2) then 1.5
else 1;
```

Release condition: l'aeroporto è dotato di una sola runway quindi gli aerei possono atterrare uno alla volta.

```
s[12]>0;
```

Beginnig effect: viene decrementato $s[12]$ e viene memorizzato il tempo di ingresso se l'aereo sta atterrando ($aereo[11,tag]==0$). Se parte ($aereo[11,tag]==1$) invece viene memorizzato il tempo di inizio decollo.

```
if (aereo[11,tag]==0) then aereo[15,tag]:=clock;
if (aereo[11,tag]==0) then aereo[63,tag]:=clock;
s[12]-=1;
if (aereo[11,tag]==1) then aereo[127,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene liberata la pista e viene calcolato il tempo di atterraggio o eventualmente quello di decollo, quello di uscita dal sistema, il tempo di permanenza nell'aeroporto e quello di turnaround se l'aeromobile è in partenza.

```
s[12]+=1;
if (aereo[11,tag]==0) then aereo[64,tag]:=clock-aereo[63,tag];
if (aereo[11,tag]==1) then aereo[128,tag]:=clock-aereo[127,tag];
if (aereo[11,tag]==1) then aereo[16,tag]:=clock;
if (aereo[11,tag]==1) then aereo[17,tag]:=aereo[16,tag]-aereo[15,tag];
if (aereo[11,tag]==1) then aereo[14,tag]:=aereo[17,tag]-aereo[130,tag];
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità. Vengono usate due variabili differenti a seconda che l'aeromobile sia in arrivo o in partenza.

Entering effect: if (aereo[11,tag]==0) then aereo[57,tag]:=clock else aereo[145,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag]-10*aereo[11,tag];

La priorità viene data prima agli aerei in arrivo e dopo a quelli in partenza, sempre rispettando la scala sopra mostrata.

Departing effect: if (aereo[11,tag]==0) then aereo[58,tag]:=clock-aereo[57,tag] else aereo[146,tag]:=clock-aereo[145,tag];

Routing condition:

Decision Type: multiple

6 taxi in: se l'aereo è appena atterrato.

if (aereo[11,tag]==0) then 1 else 0;

40 fine: se l'aereo è appena decollato.

if (aereo[11,tag]==1) then 1 else 0;

Task 6:



la task rappresenta l'attraversamento della taxiway da parte dell'aereo.

Mean time: 2;

Standard deviation: 0.5;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

aereo[65,tag]:=clock;

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[66,tag]:=clock-aereo[65,tag];
```

Task 7:



la task rappresenta la fase di parcheggio.

Mean time: 1.5;

Standard deviation: 0.5;

Release condition: l'aereo accede alla apron solo se ci posti disponibili.

```
s[0]>0;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di posti liberi sulla apron e si salva il minimo.

```
aereo[67,tag]:=clock;  
s[0]-=1;  
if (s[0]<m[0]) then m[0]:=s[0];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[68,tag]:=clock-aereo[67,tag];
```

Coda: FIFO

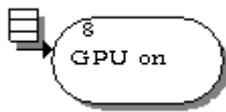
Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

```
Entering effect: aereo[27,tag]:=clock;
```

```
Priority: aereo[10,tag];
```

```
Departing effect: aereo[28,tag]:=clock-aereo[27,tag];
```

Task 8:



la task rappresenta il collegamento del generatore di terra.

Mean time: 0.5;

Release condition: l'energia viene collegata solo se sono disponibili i generatori.

$s[9] > 0$;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di generatori liberi e si salva il minimo.

```
aereo[69,tag]:=clock;  
s[9]-=1;  
if (s[9]<m[9]) then m[9]:=s[9];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[70,tag]:=clock-aereo[69,tag];
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: $aereo[37,tag] := clock$;

Priority: $aereo[10,tag]$;

Departing effect: $aereo[38,tag] := clock - aereo[37,tag]$;

Task 9:



la task rappresenta il posizionamento dei blocchi alle ruote.

Mean time: 0.5;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[71,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[72,tag]:=clock-aereo[71,tag];
```

Task 10:



la task rappresenta lo spegnimento delle luci di anti-collisione.

Mean time: 0.2;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[73,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[74,tag]:=clock-aereo[73,tag];
```

Routing condition:

Decision Type: multiple

11 gatebridges: sempre.

```
1;
```

12 A unload baggage: solo se la compagnia di handling è la A.

```
if (aereo[6,tag]==0) then 1 else 0;
```

13 B unload baggage: solo se la compagnia di handling è la B.

```
if (aereo[6,tag]==1) then 1 else 0;
```

14 FMS: solo se non effettua la sosta.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;
```

15 wingmarks: sempre.

```
1;
```

16 ventilation on: sempre.

```
1;
```

17 water: sempre.

1;

18 technical check: solo se non effettua la sosta.

if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;

Task 11:



la task rappresenta il posizionamento delle scale vicino al portellone per far scendere i passeggeri e l'equipaggio.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione del velivolo.

```
if (aereo[3,tag]==1) then 1.5
else if (aereo[3,tag]==2) then 1.2
else 1;
```

Standard deviation: 0.3;

Release condition: le scale vengono posizionate solo se sono disponibili dei gatebridges.

```
s[1]>0;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di gatebridges liberi e si salva il minimo.

```
s[1]-=1;
if (s[1]<m[1]) then m[1]:=s[1];
aereo[75,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[76,tag]:=clock-aereo[75,tag];
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[29,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[30,tag]:=clock-aereo[29,tag];

Task 12:



la task rappresenta lo scarico dei bagagli da parte della compagnia A.

Mean time: il tempo medio dipende sia dalla dimensione del velivolo sia dal tipo di volo.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]<=1) then 9
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]<=1) then 7
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]<=1) then 5
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]>=2) then 20
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]>=2) then 15
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]>=2) then 10;
```

Standard deviation: 2;

Release condition: i bagagli vengono scaricati solo se c'è almeno una squadra addetta libera.

```
s[2]>0;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di squadre libere e si salva il minimo.

```
s[2]-=1;
if (s[2]<m[2]) then m[2]:=s[2];
aereo[77,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza, viene impostata ad 1 la variabile 49 che indica il completamento dell'operazione e se l'aereo effettua la sosta viene liberata la squadra di handling.

```
aereo[78,tag]:=clock-aereo[77,tag];
aereo[49,tag]:=1;
if (aereo[5,tag]==1) then s[2]+=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[31,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[32,tag]:=clock-aereo[31,tag];

Routing condition:

Decision Type: multiple.

20 load baggage A: l'imbarco dei nuovi bagagli si effettua solo se l'aereo riparte.

if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta non si caricano subito i bagagli.

if (aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;

Task 13:



la task rappresenta lo scarico dei bagagli da parte della compagnia B.

Mean time: il tempo medio dipende sia dalla dimensione del velivolo sia dal tipo di volo.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]<=1) then 9
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]<=1) then 7
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]<=1) then 5
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]>=2) then 20
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]>=2) then 15
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]>=2) then 10;
```

Standard deviation: 2;

Release condition: i bagagli vengono scaricati solo se c'è almeno una squadra addetta libera.

s[3]>0;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di squadre libere e si salva il minimo.

```
s[3]-=1;  
if (s[3]<m[3]) then m[3]:=s[3];  
aereo[77,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza, viene impostata ad 1 la variabile 49 che indica il completamento dell'operazione e se l'aereo effettua la sosta viene liberata la squadra di handling.

```
aereo[78,tag]:=clock-aereo[77,tag];  
aereo[49,tag]:=1;  
if (aereo[5,tag]==1) then s[2]+=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[31,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[32,tag]:=clock-aereo[31,tag];

Routing condition:

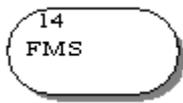
Decision Type: multiple.

21 load baggage B: l'imbarco dei nuovi bagagli si effettua solo se l'aereo riparte.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;
```

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta non si caricano subito i bagagli.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;
```

Task 14:

La task rappresenta il Flight Management System.

Mean time: 3;

Standard deviation: 1.5;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[79,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[80,tag]:=clock-aereo[79,tag];
```

Task 15:

la task rappresenta il posizionamento dei coni sotto le ali

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione del velivolo

```
if (aereo[3,tag]==1) then 1
else if (aereo[3,tag]==2) then 0.7
else 0.5;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso

```
aereo[81,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene messa a 1 la variabile 22 che indica che l'operazione è conclusa.

```
aereo[82,tag]:=clock-aereo[81,tag];
aereo[22,tag]:=1;
```

Routing condition:

Decision Type: multiple.

34 wingmarks off: se l'aereo non effettua la sosta si procede nelle operazioni successive.

if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;

33 ventilation off: se l'aereo non effettua la sosta si procede nelle operazioni successive.

if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta si interrompono le operazioni.

if (aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;

Task 16:



la task rappresenta l'accensione dell'aria condizionata.

Mean time: 0.5;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

aereo[83,tag]:=clock;

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene messa a 1 la variabile 23 che indica che l'operazione è terminata.

aereo[84,tag]:=clock-aereo[83,tag];
aereo[23,tag]:=1;

Routing condition:

Decision Type: multiple.

34 wingmarks off: se l'aereo non effettua la sosta si continua nelle operazioni.

if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;

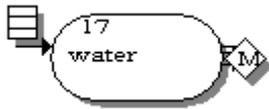
33 ventilation off: se l'aereo non effettua la sosta si continua nelle operazioni.

if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta si interrompono le operazioni.

if (aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;

Task 17:



la task rappresenta il caricamento dell'acqua potabile sull'aereo.

Mean time: il tempo dipende dalla dimensione del velivolo.

```
if (aereo[3,tag]==1) then 4
else if (aereo[3,tag]==2) then 3
else 2;
```

Standard deviation: 1;

Release condition: l'acqua viene scaricata solo se c'è almeno una squadra addetta libera.

```
s[10]>0;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di squadre libere e si salva il minimo.

```
aereo[85,tag]:=clock;
s[10]-=1;
if (s[10]<m[10]) then m[10]:=s[10];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene messa a 1 la variabile 24 che indica che l'operazione è terminata inoltre viene liberata la squadra addetta.

```
aereo[86,tag]:=clock-aereo[85,tag];
aereo[24,tag]:=1;
s[10]+=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[35,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[36,tag]:=clock-aereo[35,tag];

Routing condition:

Decision Type: multiple.

23 sanitation: se l'aereo non è un privato si effettua la pulizia dei bagni.

if (aereo[4,tag]==3) then 0 else 1;

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta ed è privato si interrompono le operazioni.

if (aereo[4,tag]==3 & aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;

33 ventilation off: se l'aereo non effettua la sosta ed è privato si continua nelle operazioni.

if (aereo[4,tag]==3 & aereo[5,tag]==2) then 1 else 0;

34 wingmarks off: se l'aereo non effettua la sosta ed è privato si continua nelle operazioni

if (aereo[4,tag]==3 & aereo[5,tag]==2) then 1 else 0;

Task 18:



la task rappresenta l'ispezione esterna dell'aereo.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione del velivolo.

if (aereo[3,tag]==1) then 2.5
else if (aereo[3,tag]==2) then 2
else 1.5;

Standard deviation: 0.5;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

aereo[87,tag]:=clock;

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene messa a 1 la variabile 26 che indica che l'operazione è conclusa.

aereo[88,tag]:=clock-aereo[87,tag];
aereo[26,tag]:=1;

Routing condition:

Decision Type: multiple.

33 ventilation off: sempre.

1;

34 wingmarks off: sempre.

1;

Task 19:



la task rappresenta lo sbarco dei passeggeri.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione del velivolo e dal tipo di volo.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]<=1) then 10
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]<=1) then 7
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]<=1) then 4
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]==3) then 1.5
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]==3) then 1.2
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]==3) then 1
else if (aereo[4,tag]==2) then 1.5;
```

Standard deviation: la deviazione standard dipende dalla dimensione dell'aereo.

```
if (aereo[4,tag]<=1) then 1.5 else 0.5;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[89,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[90,tag]:=clock-aereo[89,tag];
```

Routing condition:

Decision Type: multiple.

24 catering: l'aereo non effettua il catering se deve fare la sosta o è un volo cargo o privato.

```
if (aereo[5,tag]==1 | aereo[4,tag]==2 | aereo[4,tag]==3) then 0 else 1;
```

25 cleaning: l'aereo non effettua la pulizia se è un volo cargo o privato.

```
if (aereo[4,tag]==2 | aereo[4,tag]==3) then 0 else 1;
```

26 Agip: l'aereo fa rifornimento all'Agip se è la sua compagnia di carburante.

```
if (aereo[7,tag]==1) then 1 else 0;
```

27 Tamoil: l'aereo fa rifornimento alla Tamoil se è la sua compagnia di carburante.

```
if (aereo[7,tag]==0) then 1 else 0;
```

Task 20:



la task rappresenta l'imbarco dei bagagli da parte della compagnia A.

Mean time: il tempo dipende dalla dimensione del velivolo e dal tipo di volo.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]<=1) then 9  
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]<=1) then 7  
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]<=1) then 5  
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]>=2) then 20  
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]>=2) then 15  
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]>=2) then 10;
```

Standard deviation: 2;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso e se l'aereo ha appena terminato la sosta viene impiegata una squadra di handling.

```
aereo[91,tag]:=clock;  
if (aereo[5,tag]==1) then s[2]-=1;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza, viene incrementata di 1 la variabile 19 e viene liberata la squadra di handling.

```
aereo[92,tag]:=clock-aereo[91,tag];  
aereo[19,tag]+=1;  
s[2]+=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[33,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[34,tag]:=clock-aereo[33,tag];

Task 21:



la task rappresenta l'imbarco dei bagagli da parte della compagnia B.

Mean time: il tempo dipende dalla dimensione del velivolo e dal tipo di volo.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]<=1) then 9
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]<=1) then 7
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]<=1) then 5
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]>=2) then 20
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]>=2) then 15
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]>=2) then 10;
```

Standard deviation: 2;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso e se l'aereo ha appena concluso la sosta viene impiegata una squadra di handling.

```
aereo[91,tag]:=clock;
if (aereo[5,tag]==1) then s[3]-=1;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza, viene incrementata di 1 la variabile 19 e viene liberata la squadra di handling.

```
aereo[92,tag]:=clock-aereo[91,tag];
aereo[19,tag]+=1;
s[3]+=1;
```

Coda: FIFO

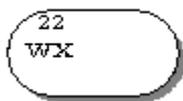
Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: `aereo[33,tag]:=clock;`

Priority: `aereo[10,tag];`

Departing effect: `aereo[34,tag]:=clock-aereo[33,tag];`

Task 22:



la task rappresenta il controllo meteorologo.

Mean time: 1.5;

Standard deviation: 0.5;

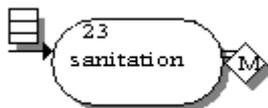
Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

`aereo[93,tag]:=clock;`

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

`aereo[94,tag]:=clock-aereo[93,tag];`

Task 23:



la task rappresenta la pulizia dei bagni.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione dell'aereo.

```
if (aereo[3,tag]==1) then 4
else if (aereo[3,tag]==2) then 3
else if (aereo[3,tag]==3) then 2;
```

Standard deviation: 0.5;

Release condition: la pulizia è eseguita solo se c'è almeno una squadra addetta libera.

`s[6]>0;`

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di squadre libere e si salva il minimo.

```
aereo[95,tag]:=clock;  
s[6]-=1;  
if (s[6]<m[6]) then m[6]:=s[6];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene messa a 1 la variabile 25 che indica che l'operazione è terminata inoltre viene liberata la squadra addetta.

```
aereo[96,tag]:=clock-aereo[95,tag];  
s[6]+=1;  
aereo[25,tag]:=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[41,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[42,tag]:=clock-aereo[41,tag];

Routing condition:

Decision Type: multiple

33 ventilation off: se l'aereo non effettua la sosta si prosegue con le operazioni.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;
```

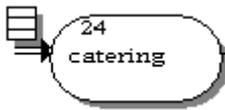
34 wingmarks off: se l'aereo non effettua la sosta si prosegue con le operazioni.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;
```

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta ci si ferma.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;
```

Task 24:



la task rappresenta il servizio di catering.

Mean time: il tempo dipende dalla dimensione del velivolo, dal tipo di volo e dalla sua provenienza.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]==1 & aereo[2,tag]==1) then 5
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]==1 & aereo[2,tag]==1) then 3.5
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]==1 & aereo[2,tag]==1) then 2
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]==1 & aereo[2,tag]==0) then 6
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]==1 & aereo[2,tag]==0) then 4.5
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]==1 & aereo[2,tag]==0) then 3
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]==0) then 2
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]==0) then 1.5
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]==0) then 1;
```

Standard deviation: 0.5;

Release condition: il catering viene eseguito solo se c'è almeno una squadra addetta libera.

```
s[4]>0;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di squadre libere e si salva il minimo.

```
aereo[97,tag]:=clock;
s[4]-=1;
if (s[4]<m[4]) then m[4]:=s[4];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata di 1 la variabile 18 inoltre viene liberata la squadra addetta.

```
aereo[98,tag]:=clock-aereo[97,tag];
aereo[18,tag]+=1;
s[4]+=1;
```

Coda: FIFO

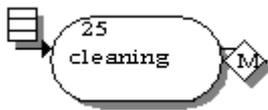
Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[43,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[44,tag]:=clock-aereo[43,tag];

Task 25:



la task rappresenta la pulizia dell'aeromobile.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione del velivolo.

```
if (aereo[3,tag]==1) then 7
else if (aereo[3,tag]==2) then 5
else if (aereo[3,tag]==3) then 3;
```

Standard deviation: 1;

Release condition: la pulizia viene eseguita solo se c'è almeno una squadra addetta libera.

```
s[5]>0;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di squadre libere e si salva il minimo.

```
aereo[99,tag]:=clock;
s[5]-=1;
if (s[5]<m[5]) then m[5]:=s[5];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata di 1 la variabile 18 inoltre viene liberata la squadra addetta.

```
aereo[100,tag]:=clock-aereo[99,tag];
aereo[18,tag]+=1;
s[5]+=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[45,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[46,tag]:=clock-aereo[45,tag];

Routing condition:

Decision Type: multiple

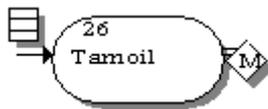
30 boarding: se l'aereo non effettua la sosta si prosegue con le operazioni.

if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta si interrompono le operazioni.

if (aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;

Task 26:



la task rappresenta il rifornimento da parte della Tamoil.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione dell'aereo e dalla provenienza.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[2,tag]==1) then 12
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[2,tag]==1) then 10
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[2,tag]==1) then 8
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[2,tag]==0) then 20
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[2,tag]==0) then 16
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[2,tag]==0) then 12;
```

Standard deviation: 2;

Release condition: il rifornimento viene eseguita solo se c'è almeno un camion libero.

s[8]>0;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di camion liberi e si salva il minimo.

```
aereo[101,tag]:=clock;
s[8]-=1;
if (s[8]<m[8]) then m[8]:=s[8];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata di 1 la variabile 18 inoltre viene liberato il camion addetto.

```
aereo[102,tag]:=clock-aereo[101,tag];
s[8]+=1;
aereo[18,tag]+=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[47,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[48,tag]:=clock-aereo[47,tag];

Routing condition:

Decision Type: multiple.

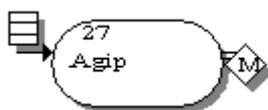
30 boarding: se l'aereo non effettua la sosta si prosegue con le operazioni.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;
```

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta si interrompono le operazioni.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;
```

Task 27:



la task rappresenta il rifornimento da parte dell'Agip.

Mean time: il tempo dipende dalla dimensione dell'aereo e dalla provenienza.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[2,tag]==1) then 12
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[2,tag]==1) then 10
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[2,tag]==1) then 8
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[2,tag]==0) then 20
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[2,tag]==0) then 16
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[2,tag]==0) then 12;
```

Standard deviation: 2;

Release condition: il rifornimento viene eseguita solo se c'è almeno una camion libero.

```
s[7]>0;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di camion liberi e si salva il minimo.

```
aereo[101,tag]:=clock;  
s[7]-=1;  
if (s[7]<m[7]) then m[7]:=s[7];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata di 1 la variabile 18 inoltre viene liberato il camion addetto.

```
aereo[102,tag]:=clock-aereo[101,tag];  
s[7]+=1;  
aereo[18,tag]+=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[47,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[48,tag]:=clock-aereo[47,tag];

Routing condition:

Decision Type: multiple.

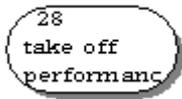
30 boarding: se l'aereo non effettua la sosta si prosegue con le operazioni.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 0 else 1;
```

41 sosta: se l'aereo effettua la sosta si interrompono le operazioni.

```
if (aereo[5,tag]==1) then 1 else 0;
```

Task 28:



la task rappresenta le operazioni di preparazione del volo.

Mean time: 4;

Standard deviation: 1;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[103,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[104,tag]:=clock-aereo[103,tag];
```

Task 29:



la task rappresenta la telefonata tra il pilota e la torre di controllo.

Mean time: 0.5;

Standard deviation: 0.1;

Release condition: la telefonata viene eseguita solo se l'operatore è libero.

```
s[11]>0;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso, si decrementa il numero di operatori liberi e si salva il minimo.

```
aereo[105,tag]:=clock;  
s[11]-=1;  
if (s[11]<m[11]) then m[11]:=s[11];
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata di 1 la variabile 19 inoltre viene liberato l'operatore della torre di controllo.

```
aereo[106,tag]:=clock-aereo[105,tag];  
aereo[19,tag]+=1;  
s[11]+=1;
```

Coda: FIFO

Viene memorizzato il tempo di ingresso e quello di permanenza nella coda e viene impostata la priorità.

Entering effect: aereo[55,tag]:=clock;

Priority: aereo[10,tag];

Departing effect: aereo[56,tag]:=clock-aereo[55,tag];

Task 30:



la task rappresenta l'imbarco dei passeggeri e del personale.

Mean time: il tempo dipende dalla dimensione dell'aereo e dal tipo di volo.

```
if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]<=1) then 10
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]<=1) then 7
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]<=1) then 4
else if (aereo[3,tag]==1 & aereo[4,tag]==3) then 1.5
else if (aereo[3,tag]==2 & aereo[4,tag]==3) then 1.2
else if (aereo[3,tag]==3 & aereo[4,tag]==3) then 1
else if (aereo[4,tag]==2) then 1.5;
```

Standard deviation: lo scarto quadratico medio dipende dal tipo di volo.

```
if (aereo[4,tag]<=1) then 1.5 else 0.5;
```

Release condition: l'imbarco viene eseguito solo se sono state eseguite tutte le operazioni precedenti: benzina per voli cargo e privati, per quelli di linea e i charter anche catering e cleaning.

```
if (aereo[4,tag]==3 | aereo[4,tag]==2) then aereo[18,tag]==1 else
aereo[18,tag]==3;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[107,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata di 1 la variabile 19.

```
aereo[108,tag]:=clock-aereo[107,tag];  
aereo[19,tag]+=1;
```

Routing condition:

Decision Type: multiple.

31 load sheet: sempre.

1;

32 gate bridge off: sempre.

1;

Task 31:



la task rappresenta la compilazione del load sheet.

Mean time: 3;

Standard deviation: 0.5;

Release condition: il load sheet viene compilato solo se sono state completate le operazioni di carico dei bagagli, rifornimento e ATC. Per i voli privati devono essere concluse le operazioni di benzina e ATC.

```
if (aereo[4,tag]==3) then aereo[19,tag]==2 else aereo[19,tag]==3;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[111,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene messa a 1 la variabile 20 che indica il completamento dell'operazione.

```
aereo[112,tag]:=clock-aereo[111,tag];  
aereo[20,tag]:=1;
```

Routing condition:

Decision Type: multiple.

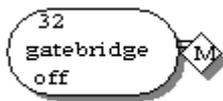
33 ventilation off: sempre.

1;

34 wingmarks off: sempre.

1;

Task 32:



la task rappresenta la rimozione delle scale per i passeggeri.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione dell'aereo.

```
if (aereo[3,tag]==1) then 1.5  
else if (aereo[3,tag]==2) then 1.2  
else 1;
```

Standard deviation: 0.3;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[109,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza, viene messa a 1 la variabile 21 che indica il completamento dell'operazione e viene liberato un gatebridge.

```
aereo[110,tag]:=clock-aereo[109,tag];  
s[1]+=1;  
aereo[21,tag]:=1;
```

Routing condition:

Decision Type: multiple.

33 ventilation off: sempre.

1;

34 wingmarks off: sempre.

1;

Task 33:



la task indica lo spegnimento dell'aria condizionata.

Mean time: 0.5;

Release condition: se l'aereo è un privato devono essere state eseguite tutte le operazioni di: load sheet, di gatebridge off, di wingmarks on, di ventilation on, di water e il technical check. Mentre per gli altri tipi di voli deve essere conclusa anche l'operazione di sanitation.

```
if (aereo[4,tag]==3) then
aereo[20,tag]+aereo[21,tag]+aereo[22,tag]+aereo[23,tag]+aereo[24,tag]+aereo[26,tag]==6 else
aereo[20,tag]+aereo[21,tag]+aereo[22,tag]+aereo[23,tag]+aereo[25,tag]+aereo[26,tag]==6;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[115,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata 1 la variabile 50 che indica il completamento dell'operazione.

```
aereo[116,tag]:=clock-aereo[115,tag];
aereo[50,tag]+=1;
```

Routing condition:

Decision Type: multiple.

35 chocks off: sempre.

```
1;
```

36 GPU off: sempre.

```
1;
```

Task 34:



la task indica la rimozione dei coni da sotto le ali.

Mean time: il tempo medio dipende dalle dimensioni del velivolo.

```
if (aereo[3,tag]==1) then 1
else if (aereo[3,tag]==2) then 0.7
else 0.5;
```

Release condition: se l'aereo è un privato devono essere state eseguite tutte le operazioni di: load sheet, di gatebridge off, di wingmarks on, di ventilation on, di water e il technical check. Mentre per gli altri tipi di voli deve essere conclusa anche l'operazione di sanitation.

```
if (aereo[4,tag]==3) then
aereo[20,tag]+aereo[21,tag]+aereo[22,tag]+aereo[23,tag]+aereo[24,tag]+aereo[26,tag]==6 else
aereo[20,tag]+aereo[21,tag]+aereo[22,tag]+aereo[23,tag]+aereo[25,tag]+aereo[26,tag]==6;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[113,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata 1 la variabile 50 che indica il completamento dell'operazione.

```
aereo[114,tag]:=clock-aereo[113,tag];
aereo[50,tag]+=1;
```

Routing condition:

Decision Type: multiple.

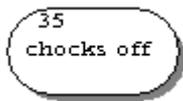
35 chocks off: sempre.

```
1;
```

36 GPU off: sempre.

```
1;
```

Task 35:



la task indica la rimozione dei blocchi dalle ruote.

Mean time: 0.5;

Release condition: devono essere state completate le operazioni di wingmarks off e di ventilation off.

```
aereo[50,tag]==2;
```

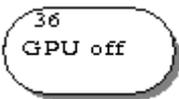
Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[119,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene incrementata 1 la variabile 50 che indica il completamento dell'operazione.

```
aereo[120,tag]:=clock-aereo[119,tag];  
aereo[50,tag]+=1;
```

Task 36:



la task indica lo spegnimento del generatore di terra.

Mean time: 0.5;

Release condition: devono essere state completate le operazioni di wingmarks off e di ventilation off.

```
aereo[50,tag]==2;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[117,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza, viene incrementata di 1 la variabile 50 che indica il completamento dell'operazione e viene liberato un generatore.

```
aereo[118,tag]:=clock-aereo[117,tag];  
aereo[50,tag]+=1;  
s[9]+=1;
```

Task 37:



la task indica l'accensione delle luci di anti-collisions.

Mean time: 0.2;

Release condition: devono essere state completate le operazioni di GPU off e di chocks off.

```
aereo[50,tag]==4;
```

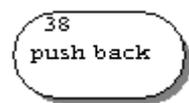
Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[121,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[122,tag]:=clock-aereo[121,tag];
```

Task 38:



la task rappresenta l'uscita dal parcheggio dell'aeromobile.

Mean time: il tempo medio dipende dalla dimensione del velivolo.

```
if (aereo[3,tag]==1) then 2  
else if (aereo[3,tag]==2) then 1.5  
else 1;
```

Standard deviation: 0.2;

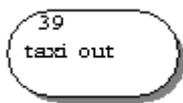
Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso.

```
aereo[123,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza.

```
aereo[124,tag]:=clock-aereo[123,tag];
```

Task 39:



la task indica il percorso dell'aereo sulla taxiway.

Mean time: 2.5

Standard deviation: 0.5;

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso e viene liberato un parcheggio.

```
s[0]+=1;  
aereo[125,tag]:=clock;
```

Ending effect: viene memorizzato il tempo di permanenza e viene messa a 1 la variabile 11 che indica che l'aereo sta partendo.

```
aereo[126,tag]:=clock-aereo[125,tag];  
aereo[11,tag]:=1;
```

Task 40:



la task rapprenda gli aerei che sono appena decollati

Task 41:



la task rappresenta la sosta per gli aeromobili che si fermano in aeroporto.

Mean time: il tempo della sosta viene calcolato in base alla dimensione dell'aereo. Si sottrae al tempo di partenza previsto il tempo di inizio della sosta (che generalmente coincide con la fine del rifornimento) e un tempo stimato per le operazioni precedenti alla partenza.

```
if (aereo[3,tag]==1 & (aereo[1,tag]-(aereo[101,tag]+aereo[102,tag])-30)>0)  
then aereo[1,tag]-(aereo[101,tag]+aereo[102,tag])-30  
else if (aereo[3,tag]==2 & (aereo[1,tag]-(aereo[101,tag]+aereo[102,tag])-  
26)>0) then aereo[1,tag]-(aereo[101,tag]+aereo[102,tag])-26
```

```
else if (aereo[3,tag]==3 & (aereo[1,tag]-(aereo[101,tag]+aereo[102,tag])-23)>0) then aereo[1,tag]-(aereo[101,tag]+aereo[102,tag])-23;
```

Nella condizione dell'if si controlla anche che il tempo di permanenza sia maggiore di zero, infatti può capitare che se l'aereo ha avuto particolari ritardi debba rinunciare alla sosta e ripartire immediatamente.

Release condition: in base al tipo di volo devono essere completate tutte le operazioni previste prima di poter considerare l'aereo in sosta.

```
if (aereo[4,tag]==2) then
aereo[23,tag]+aereo[25,tag]+aereo[18,tag]+aereo[49,tag]+aereo[22,tag]==5
else if (aereo[4,tag]==3) then
aereo[23,tag]+aereo[24,tag]+aereo[18,tag]+aereo[49,tag]+aereo[22,tag]==4
else
aereo[23,tag]+aereo[25,tag]+aereo[18,tag]+aereo[49,tag]+aereo[22,tag]==6;
```

Beginnig effect: viene memorizzato il tempo di ingresso in sosta, viene liberato un gatebridge, e viene liberata una squadra di handling a seconda della compagnia utilizzata.

```
s[1]+=1;
aereo[129,tag]:=clock;
if (aereo[6,tag]==0) then s[2]+=1;
if (aereo[6,tag]==1) then s[3]+=1;
```

Ending effect: viene memorizzato la durata della sosta, viene riutilizzato un gatebridge ed eventualmente calcolato il minimo, e viene impiegata una squadra di handling.

```
s[1]-=1;
if (s[1]<m[1]) then m[1]:=s[1];
aereo[130,tag]:=clock-aereo[129,tag];
if (aereo[6,tag]==0) then s[2]-=1;
if (aereo[6,tag]==1) then s[3]-=1;
```

Routing condition:

Decision Type: multiple.

14 FMS: sempre.

1;

20 A load baggage: solo se la compagnia è la A.

if (aereo[6,tag]==0) then 1 else 0;

21 B load baggage: solo se la compagnia è la B.

if (aereo[6,tag]==1) then 1 else 0;

18 technical check:

1;

24 catering: solo se il volo è di linea o charter

if (aereo[4,tag]==2 | aereo[4,tag]==3) then 0 else 1;

30 boarding: solo se il volo è cargo o privato

if (aereo[4,tag]==2 | aereo[4,tag]==3) then 1 else 0;

MATRICE DEI DATI

Una volta terminata la simulazione, la matrice aereo verrà salvata su un file di testo tramite la snapshot e conterrà per ogni volo tutte le informazioni e i tempi calcolati nel programma.

Questo è un riepilogo del suo contenuto:

- 0 arrivo in minuti
- 1 partenza prevista in minuti
- 2 provenienza del volo
- 3 dimensione dell'aereo
- 4 tipo di volo
- 5 sosta
- 6 compagnia di handling
- 7 compagnia di carburante
- 8 ritardo in minuti
- 9 tempo in sosta
- 10 priorità
- 11 0 = decollo o 1 = atterraggio
-
- 14 tempo di permanenza meno tempo di sosta (17-130)
- 15 tempo di ingresso nel sistema aeroportuale
- 16 tempo di uscita dal sistema
- 17 tempo di permanenza nel sistema (16-15)
- 18 contatore per le operazioni di cleaning, catering e fuel (max valore =3)
- 19 contatore per le operazioni di boarding, load baggage e ATC (max valore =3)
- 20 1 se load sheet completato
- 21 1 se gatebridge off completato
- 22 1 se wingmarks on completato
- 23 1 se ventilation on completato
- 24 1 se water completato
- 25 1 se sanitation completato
- 26 1 se technical check completato

- 27 tempo inizio coda per index
- 28 tempo di durata della coda
- 29 tempo inizio coda per gatebridge on
- 30 tempo di durata della coda
- 31 tempo inizio coda per unload baggage (sia A o B)
- 32 tempo di durata della coda
- 33 tempo inizio coda per load baggage (sia A o B)
- 34 tempo di durata della coda
- 35 tempo inizio coda per water
- 36 tempo di durata della coda
- 37 tempo inizio coda per GPU
- 38 tempo di durata della coda
- 39 tempo inizio coda per deboarding
- 40 tempo di durata della coda
- 41 tempo inizio coda per sanitation
- 42 tempo di durata della coda
- 43 tempo inizio coda per catering
- 44 tempo di durata della coda
- 45 tempo inizio coda per cleaning
- 46 tempo di durata della coda
- 47 tempo inizio coda per fuel (sia Agip o Tamoil)
- 48 tempo di durata della coda
- 49 1 se unload baggage completato
- 50 contatore per le operazioni di wingmarks off, ventilation off, Gpu off e chocks off
- 53 tempo inizio coda per gatebridge off
- 54 tempo di durata della coda
- 55 tempo inizio coda per ATC clearance
- 56 tempo di durata della coda
- 57 tempo inizio coda per touch down
- 58 tempo di durata della coda
-
- 63 tempo di inizio touch down
- 64 tempo di durata dell'operazione

- 65 tempo di inizio taxi in
- 66 tempo di durata dell'operazione
- 67 tempo di inizio index
- 68 tempo di durata dell'operazione
- 69 tempo di inizio GPU on
- 70 tempo di durata dell'operazione
- 71 tempo di inizio chocks on
- 72 tempo di durata dell'operazione
- 73 tempo di inizio anti-collision on
- 74 tempo di durata dell'operazione
- 75 tempo di inizio gatebridge on
- 76 tempo di durata dell'operazione
- 77 tempo di inizio unload baggage (sia A o B)
- 78 tempo di durata dell'operazione
- 79 tempo di inizio FMS
- 80 tempo di durata dell'operazione
- 81 tempo di inizio wingmarks on
- 82 tempo di durata dell'operazione
- 83 tempo di inizio ventilation on
- 84 tempo di durata dell'operazione
- 85 tempo di inizio water
- 86 tempo di durata dell'operazione
- 87 tempo di inizio technical check
- 88 tempo di durata dell'operazione
- 89 tempo di inizio deboarding
- 90 tempo di durata dell'operazione
- 91 tempo di inizio load baggage (sia A o B)
- 92 tempo di durata dell'operazione
- 93 tempo di inizio WX
- 94 tempo di durata dell'operazione
- 95 tempo di inizio sanitation
- 96 tempo di durata dell'operazione
- 97 tempo di inizio catering
- 98 tempo di durata dell'operazione

- 99 tempo di inizio cleaning
- 100 tempo di durata dell'operazione
- 101 tempo di inizio fuel (sia Agip o Tamoil)
- 102 tempo di durata dell'operazione
- 103 tempo di inizio take off performance calculation
- 104 tempo di durata dell'operazione
- 105 tempo di inizio ATC clearance
- 106 tempo di durata dell'operazione
- 107 tempo di inizio boarding
- 108 tempo di durata dell'operazione
- 109 tempo di inizio gatebridge off
- 110 tempo di durata dell'operazione
- 111 tempo di inizio load sheet
- 112 tempo di durata dell'operazione
- 113 tempo di inizio wingmarks off
- 114 tempo di durata dell'operazione
- 115 tempo di inizio ventilation off
- 116 tempo di durata dell'operazione
- 117 tempo di inizio GPU off
- 118 tempo di durata dell'operazione
- 119 tempo di inizio chocks off
- 120 tempo di durata dell'operazione
- 121 tempo di inizio anti-collision off
- 122 tempo di durata dell'operazione
- 123 tempo di inizio push back
- 124 tempo di durata dell'operazione
- 125 tempo di inizio taxi out
- 126 tempo di durata dell'operazione
- 127 tempo di inizio take off
- 128 tempo di durata dell'operazione
- 129 tempo di inizio sosta
- 130 tempo di durata dell'operazione
- 131 tempo inizio coda per boarding
- 132 tempo di fine coda

RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

Il programma è impostato per avere due compagnie di handling mentre nell'aeroporto Catullo di Villafranca di Verona ne è presente solo una. Perciò si è deciso di utilizzare nelle simulazioni una sola compagnia, riservando per un possibile uso futuro, l'utilizzo della seconda.

PRIMA SIMULAZIONE

La prima simulazione è stata effettuata immaginando di poter utilizzare una quantità di risorse illimitata. In questo modo possiamo disporre di risultati da paragonare con le simulazioni successive e inoltre possiamo comporre alcune statistiche di base sul piano di volo usato.

Il programma in Micro Saint restituisce una matrice di dati contenuta in un file di testo. Per poter accedere a tale file utilizziamo il programma R che, con alcune semplici operazioni, ci permette di “pulire” i dati in modo da ottenere un dataset contenente solo le informazioni di nostro interesse.

Dalla prima simulazione otteniamo anche i tempi di durata della sosta potendo così stimare quanti minuti prima della partenza occorre iniziare le operazioni di preparazione al volo.

Con le seguenti istruzioni carichiamo il file di dati e lo trasformiamo in un data frame contenente le informazioni per i soli voli della settimana.

```
dati<-scan(file.choose())
dati<-matrix(dati,ncol=133)
dati<-data.frame(dati)
id<-(1:15801)[dati$X1>2880]
dati<-dati[id,]
id<-(1:15801)[dati$X1<12960]
dati<-dati[id,]
dim(dati)
483 133
```

Le seguenti istruzioni servono per classificare gli aerei in base alle variabili del piano di volo. Possiamo così distinguere gli aerei in base alla dimensione, al tipo di volo, alla provenienza e al fatto che sostino oppure no.

```
sostasi<-(1:483)[dati$X6==1]
sostano<-(1:483)[dati$X6==2]
grossi<-(1:483)[dati$X4==1]
medi<-(1:483)[dati$X4==2]
piccoli<-(1:483)[dati$X4==3]
nazionali<-(1:483)[dati$X3==1]
inter<-(1:483)[dati$X3==0]
linea<-(1:483)[dati$X5==0]
charter<-(1:483)[dati$X5==1]
cargo<-(1:483)[dati$X5==2]
privati<-(1:483)[dati$X5==3]
hlinea<-(1:483)[dati$X5==0 & dati$X4==1]
hcharter<-(1:483)[dati$X5==1 & dati$X4==1]
hcargo<-(1:483)[dati$X5==2 & dati$X4==1]
hprivati<-(1:483)[dati$X5==3 & dati$X4==1]
mlinea<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==0]
mcharter<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==1]
mcargo<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==2]
mprivati<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==3]
slinea<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==0]
scharter<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==1]
scargo<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==2]
sprivati<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==3]
hsostasi<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X6==1]
hsostano<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X6==2]
msostasi<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X6==1]
msostano<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X6==2]
ssostasi<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X6==1]
ssostano<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X6==2]
hsilinea<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X5==0 & dati$X6==1]
hsicharter<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X5==1 & dati$X6==1]
hsicargo<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X5==2 & dati$X6==1]
hsiprivati<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X5==3 & dati$X6==1]
hnolinea<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X5==0 & dati$X6==2]
```

```

hnocharter<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X5==1 & dati$X6==2]
hnocargo<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X5==2 & dati$X6==2]
hnoprivati<-(1:483)[dati$X4==1 & dati$X5==3 & dati$X6==2]
msilinea<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==0 & dati$X6==1]
msicharter<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==1 & dati$X6==1]
msicargo<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==2 & dati$X6==1]
msiprivati<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==3 & dati$X6==1]
mnolinea<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==0 & dati$X6==2]
mnocharter<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==1 & dati$X6==2]
mnocargo<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==2 & dati$X6==2]
mnoprivati<-(1:483)[dati$X4==2 & dati$X5==3 & dati$X6==2]
ssilinea<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==0 & dati$X6==1]
ssicharter<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==1 & dati$X6==1]
ssicargo<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==2 & dati$X6==1]
ssiprivati<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==3 & dati$X6==1]
snolinea<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==0 & dati$X6==2]
snocharter<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==1 & dati$X6==2]
snocargo<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==2 & dati$X6==2]
snoprivati<-(1:483)[dati$X4==3 & dati$X5==3 & dati$X6==2]

```

Queste istruzioni saranno ripetute ogni qual volta si carica un nuovo dataset.

La prossima sequenza di istruzioni verrà eseguita solo con la prima simulazione, serve infatti per calcolare le frequenze sui voli in arrivo che verranno mostrate in una tabella riassuntiva in seguito.

```

table(dati[hsostasi,5])
table(dati[hsostano,5])
table(dati[msostasi,5])
table(dati[msostano,5])
table(dati[ssostasi,5])
table(dati[ssostano,5])
length(dati[hsostasi,5])
length(dati[hsostano,5])
length(dati[msostasi,5])
length(dati[msostano,5])
length(dati[ssostasi,5])
length(dati[ssostano,5])

```

```

table(dati[hsostasi,5])/483*100
table(dati[hsostano,5])/483*100
table(dati[msostasi,5])/483*100
table(dati[msostano,5])/483*100
table(dati[ssostasi,5])/483*100
table(dati[ssostano,5])/483*100
length(dati[hsostasi,5])/483*100
length(dati[hsostano,5])/483*100
length(dati[msostasi,5])/483*100
length(dati[msostano,5])/483*100
length(dati[ssostasi,5])/483*100
length(dati[ssostano,5])/483*100
list(sum(dati[hlinea,9]),mean(dati[hlinea,9]))
list(sum(dati[hcharter,9]),mean(dati[hcharter,9]))
list(sum(dati[grossi,9]),mean(dati[grossi,9]))
list(sum(dati[mlinea,9]),mean(dati[mlinea,9]))
list(sum(dati[mcharter,9]),mean(dati[mcharter,9]))
list(sum(dati[mcargho,9]),mean(dati[mcargho,9]))
list(sum(dati[medi,9]),mean(dati[medi,9]))
list(sum(dati[slinea,9]),mean(dati[slinea,9]))
list(sum(dati[scharter,9]),mean(dati[scharter,9]))
list(sum(dati[scargho,9]),mean(dati[scargho,9]))
list(sum(dati[sprivati,9]),mean(dati[sprivati,9]))
list(sum(dati[piccoli,9]),mean(dati[piccoli,9]))
list(sum(dati[,9]),mean(dati[,9]))

```

Vediamo ora le istruzioni per stimare quanto tempo occorre agli aeromobili, in base alla loro dimensione, per completare le operazioni di preparazione al decollo.

```
mean(dati[hsostasi,17]-dati[hsostasi,130]-dati[hsostasi,131])
29.55
mean(dati[msostasi,17]-dati[msostasi,130]-dati[msostasi,131])
25.94
mean(dati[ssostasi,17]-dati[ssostasi,130]-dati[ssostasi,131])
21.80
```

Questi valori sono le medie dei tempi che i velivoli di grossa, media e piccola dimensione impiegano dall'uscita della task sosta alla partenza effettiva.

Le quantità verranno sottratte al tempo di sosta (calcolata dal programma in C++ e memorizzata in `aereo[8,tag]`) per i soli velivoli che la effettueranno. Questi dati sono da considerarsi come variabili del nostro modello, infatti se cambiamo questi tempi cambieranno i ritardi in partenza degli aerei che sostano in aeroporto.

Noi ci limiteremo a usare le medie come stimatori e a non variarle nel corso delle varie prove simulate.

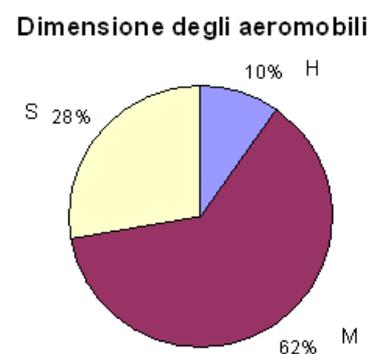
La tabella mostra per le varie tipologie di voli le frequenze, le percentuali e i ritardi in arrivo del piano di volo utilizzato.

		Frequenze			Percentuali			Rit. Arrivo	Rit. Arrivo
		restano	ripartono	Totale	restano	ripartono	Totale	totale	medio
H	linea	6	10	16	1,24	2,07	3,31	157	9,8125
	charter	13	19	32	2,69	3,93	6,63	439	13,7188
	cargo								
	privati								
Totale		19	29	48	3,93	6,00	9,94	596	12,4167
M	linea	84	85	169	17,39	17,60	34,99	2166	12,8166
	charter	59	62	121	12,22	12,84	25,05	1511	12,4876
	cargo	10		10	2,07		2,07	160	16,0000
	privati								
Totale		153	147	300	31,68	30,43	62,11	3837	12,7900
S	linea	23	56	79	4,76	11,59	16,36	656	8,3038
	charter	11	27	38	2,28	5,59	7,87	425	11,1842
	cargo	11		11	2,28		2,28	135	12,2727
	privati	6	1	7	1,24	0,21	1,45	135	19,2857
Totale		51	84	135	10,56	17,39	27,95	1351	10,0074
TOTALE		223	260	483			100	5784	11,97516

I grafici sottostante ci aiutano a riassumere:

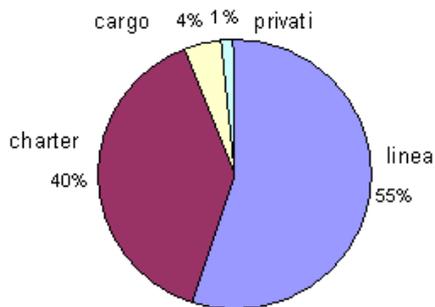


299 internazionali
184 nazionali



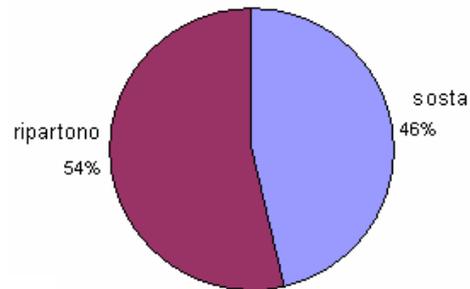
48 Hight
300 Medium
135 Small

Tipo dei voli



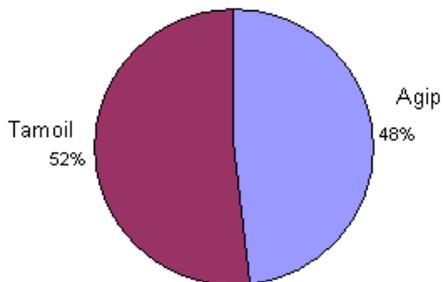
264 linea
191 charter
21 cargo
7 privati

Sosta dei velivoli



223 effettuano la sosta
260 non effettuano la sosta

Compagnia di carburante



232 Agip
251 Tamoil

Dalla prima simulazione ricaviamo anche il numero di serventi massimi che vengono impiegati per le vari attività:

Numero parcheggi:	19	Numero camion Tamoil:	3
Numero gatebridges:	8	Numero camion Agip:	3
Numero squadre handling:	3	Numero GPU:	18
Numero squadre catering:	4	Numero squadre water:	3
Numero squadre cleaning:	3	Numero operatori TWR:	2
Numero squadre sanitation:	3	Runway:	1

La tabella riporta i tempi del turnaround degli aeromobili:

TEMPI DI PERMANENZA

	Totale			Media			Massimo		Minimo		
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	restano	ripartono	
H	linea	409,08	623,54	1032,63	68,18	62,35	64,54	81,84	66,00	57,24	56,19
	charter	856,54	1094,84	1951,39	65,89	57,62	60,98	79,24	63,77	58,16	47,49
	cargo										
	privati										
	Totale	1265,63	1718,39	2984,01	66,61	59,25	62,17	81,84	66,00	57,24	47,49
M	linea	4349,35	3820,54	8169,88	51,78	44,95	48,34	79,45	60,03	37,02	33,81
	charter	3264,88	2907,05	6171,94	55,34	46,89	51,01	75,88	58,70	41,19	37,43
	cargo	509,81		509,81	50,98		50,98	64,03		42,62	
	privati										
	Totale	8124,04	6727,59	14851,63	53,10	45,77	49,51	79,45	60,03	37,02	33,81
S	linea	948,05	2034,80	2982,85	41,22	36,34	37,76	70,06	55,60	31,62	27,70
	charter	519,22	998,94	1518,17	47,20	37,00	39,95	65,01	54,50	37,28	25,70
	cargo	437,80		437,80	39,80		39,80	46,71		35,37	
	privati	255,80	34,50	290,30	42,63	34,50	41,47	55,44	34,50	37,25	34,50
	Totale	2160,88	3068,25	5229,13	42,37	36,53	38,73	70,06	55,60	31,62	25,70
	TOTALE	11550,55	11514,22	23064,77	51,80	44,29	47,75	81,81	66,00	31,62	25,70

Il tempo medio per un velivolo è di 47.75 minuti, ma esso dipende sensibilmente dalla dimensione dell'aereo; infatti la media per i grossi aeromobili è di 62.17 minuti, 49.51 per quelli medi e 38.73 per i più piccoli. Non sembrano esserci sostanziali differenze invece per quanto riguarda il tipo di volo.

RITARDI MATURATI

		Totale*			Totale			Media*			Media		
		restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale
H	linea	47,49	67,38	114,88	-9,18	-37,20	-46,38	7,92	6,74	7,18	-1,53	-3,72	-2,90
	charter	48,16	128,85	177,01	17,70	8,66	26,36	3,70	6,78	5,53	1,36	0,46	0,82
	cargo												
	privati												
Totale		95,65	196,24	291,89	8,52	-28,54	-20,02	5,03	6,77	6,08	0,45	-0,98	-0,42
M	linea	571,61	650,31	1221,92	28,23	31,31	59,54	6,80	7,65	7,23	0,34	0,37	0,35
	charter	361,20	434,60	795,81	-23,34	-84,44	-107,77	6,12	7,01	6,58	-0,40	-1,36	-0,89
	cargo	30,35		30,35	3,43		3,43	3,03		3,03	0,34		0,34
	privati												
Totale		963,16	1084,91	2048,07	8,33	-53,13	-44,80	6,30	7,38	6,83	0,05	-0,36	-0,15
S	linea	138,06	457,38	595,45	49,95	-150,19	-100,25	6,00	8,17	7,54	2,18	-2,68	-1,27
	charter	67,35	214,57	281,92	-22,56	-97,73	-120,29	6,12	7,95	7,42	-2,05	-3,62	-3,17
	cargo	41,89		41,89	27,25		27,25	3,81		3,81	2,48		2,48
	privati	33,12	5,50	38,62	4,93	5,50	10,43	5,52	5,50	5,52	0,82	5,50	1,49
Totale		280,42	677,45	957,88	59,58	-242,42	-182,85	5,50	8,06	7,10	1,17	-2,89	-1,35
TOTALE		1339,23	1958,60	3297,83	76,43	-324,10	-247,67	6,01	7,53	6,83	0,34	-1,25	-0,51

La colonna del totale e della media con l'asterisco sono stati calcolati con il modulo dei dati, questo per evidenziare meglio la differenza tra l'orario previsto di partenza e quello effettivo.

In media un volo qualsiasi parte con una differenza in minuti dall'ora prevista di 6.83, si nota come non sembra esserci una sostanziale differenza tra aeromobili di dimensione diversa.

Le restanti due colonne sono state invece calcolate normalmente e si nota come i velivoli che effettuano la sosta non sembrano essere sottoposti a particolari ritardi (anzi in media decollano in anticipo di 0.34 minuti), mentre quelli che ripartono maturano in totale 324.1 minuti di ritardo e in media 1.25. In totale, in media, un qualunque aereo parte 30 secondi dopo l'orario previsto.

La prossima tabella illustra invece i tempi in coda in media per ciascun tipo di aeromobile:

TEMPI MEDI IN CODA

	H			M			S			TOTALE
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	
Touch down	0,195	0,385	0,310	0,267	0,323	0,294	0,241	0,371	0,322	0,304
Index										
GPU										
Gatebridge on										
Deboarding										
Unload baggage										
Load baggage										
Water										
Sanitation										
Catering										
Cleaning										
Fuel										
ATC clearance										
Take off	0,758	0,591	0,657	0,535	0,449	0,493	0,436	0,403	0,415	0,488
TOTALE	0,953	0,976	0,967	0,802	0,773	0,788	0,677	0,774	0,737	0,791

Le uniche operazioni che producono una coda sono quelle di atterraggio e di decollo, questo è dovuto essenzialmente al fatto che l'aeroporto Catullo è provvisto di una sola runway e che in certi momenti della giornata possono verificarsi tempi di interarrivo minimi. Ad esempio è possibile che ci siano due o più aerei previsti per le ore 11:00, inoltre gli atterraggi hanno la precedenza sui decolli.

SECONDA SIMULAZIONE

Nella seconda simulazione abbiamo provato a diminuire alcune delle risorse dell'aeroporto e abbiamo deciso in prima battuta di eliminare un operatore dalla torre di controllo e una squadra di catering. Abbiamo optato per questa scelta perché durante l'esecuzione del programma ci sembrava fossero utilizzati raramente tutti i serventi di queste due attività.

Ricapitolando:

Numero parcheggi:	19	Numero camion Tamoil:	3
Numero gatebridges:	8	Numero camion Agip:	3
Numero squadre handling:	3	Numero GPU:	18
Numero squadre catering:	3	Numero squadre water:	3
Numero squadre cleaning:	3	Numero operatori TWR:	1
Numero squadre sanitation:	3	Runway:	1

Dopo aver eseguito la simulazione, abbiamo letto il file dei dati con R e abbiamo eseguito nuovamente le istruzioni sopra elencate e abbiamo così riprodotto delle nuove tabelle per i tempi di permanenza, per i ritardi e per le code con il nuovo data frame.

Le prime due tabelle non vengono riportate perché sono analoghe alle precedenti, infatti non sembra esserci alcuna differenza nell'utilizzare un operatore e una squadra di catering in meno. Questo significa che nell'arco di una intera settimana questi due serventi sono stati utilizzati raramente e che la loro esclusione non comporta variazioni del tempo di turnaround né tanto meno dei ritardi in partenza.

L'uso di molte risorse è richiesto solamente nei momenti di maggior traffico, mentre per il resto della giornata potrebbero esserne utilizzate un numero molto minore. Questo ci spinge a cercare un compromesso tra i ritardi nei periodi di picco e un uso adeguato delle risorse disponibili.

Riportiamo ora la tabella dei tempi in coda:

TEMPI MEDI IN CODA

	H			M			S			TOTALE
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	
Touch down	0,1952	0,3846	0,3096	0,2665	0,3234	0,2944	0,2413	0,3712	0,3221	0,3036
Index										
GPU										
Gatebridge on										
Deboarding										
Unload baggage										
Load baggage										
Water										
Sanitation										
Catering				0,0018		0,0092				0,0006
Cleaning										
Fuel										
ATC clearance		0,0022	0,0013	0,0036	0,0028	0,0030		0,0010	0,0006	0,0023
Take off	0,7579	0,5910	0,6571	0,5351	0,4493	0,4931	0,4355	0,4030	0,4153	0,4876
TOTALE	0,9532	0,9780	0,9681	0,8070	0,7750	0,7916	0,6768	0,7750	0,7380	0,7942

Come era prevedibile si creano code nelle attività di catering e ATC, ma sono molto ridotte, infatti l'aereo che entra in coda per l'operazione di catering è uno solo e aspetta 0.2773 minuti, mentre quelli che entrano in coda per l'ATC sono 8, per un totale in minuti di 1,1202. Inoltre il tempo medio in coda per ogni singolo aereo è di 0,7942 minuti mentre nella prima simulazione era di 0.7910.

Non ci sono motivi per non preferire la seconda prova rispetto la prima perchè usando meno risorse abbiamo ottenuto in pratica i medesimi risultati.

TERZA SIMULAZIONE

Nella terza prova abbiamo provato a diminuire il numero di camion per il carburante da 3 a 2 per entrambe le compagnie. Si è deciso di operare questa scelta perché il rifornimento è una delle operazioni più lunghe da effettuare e anche perché il suo svolgimento rallenta tutte le operazioni successive, infatti durante il rifornimento non è possibile far salire a bordo i passeggeri e procedere di conseguenza con il turnaround.

Il rifornimento è quindi da considerarsi un collo di bottiglia per quei velivoli che non effettuano la sosta. Per gli altri invece questa operazione viene effettuata prima della pausa e quindi ci aspettiamo una differenza in tempistica tra le due categorie di voli.

Numero parcheggi:	19	Numero camion Tamoil:	2
Numero gatebridges:	8	Numero camion Agip:	2
Numero squadre handling:	3	Numero GPU:	18
Numero squadre catering:	3	Numero squadre water:	3
Numero squadre cleaning:	3	Numero operatori TWR:	1
Numero squadre sanitation:	3	Runway:	1

TEMPI DI PERMANENZA

	Totale			Media			Massimo		Minimo		
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	restano	ripartono	
H	linea	400,30	616,77	1017,07	66,71	61,68	63,57	86,29	68,10	55,68	55,82
	charter	856,80	1039,60	1950,36	65,90	57,55	60,95	78,36	66,06	56,04	48,34
	cargo										
	privati										
	Totale	1257,11	1710,33	2967,43	66,16	58,97	61,82	86,29	68,10	55,68	48,34
M	linea	4399,52	3866,05	8265,57	52,37	45,48	48,91	77,96	59,61	38,33	34,03
	charter	3296,67	2949,56	6246,24	55,87	47,57	51,62	85,51	71,12	40,10	37,25
	cargo	506,58		506,58	50,65		50,65	60,55		46,37	
	privati										
	Totale	8202,78	6815,61	15018,39	53,61	46,36	50,06	85,51	71,12	38,33	34,03
S	linea	1007,48	2019,82	3027,31	43,80	36,07	38,32	72,78	51,46	35,73	23,40
	charter	519,54	1025,89	1545,42	47,23	37,99	40,67	68,42	53,50	36,01	27,72
	cargo	464,67		464,67	42,24		42,24	49,98	53,50	37,63	
	privati	260,66	29,59	290,25	43,44	29,59	41,47	63,51	29,59	35,35	29,59
	Totale	2252,35	3075,30	5327,66	44,16	36,61	39,46	72,79	53,50	35,35	23,40
	TOTALE	11712,24	11601,24	23313,48	52,52	44,62	48,26	86,29	71,12	35,35	23,40

Il primo dato da notare è l'aumento del tempo totale nel sistema da 23064.77 a 23313.28 con un aumento di ben 248.51 minuti, mentre il tempo medio passa da 47.75 a 48.26. Contrariamente a quanto detto prima sono aumentati i tempi degli aerei che effettuano la sosta e sono invece diminuiti, anche se lievemente, quelli dei velivoli che ripartono subito. Questo può essere spiegato dal fatto che in coda è stata data la precedenza agli aeromobili che non effettuano la pausa e quindi qualora si trovassero in coda due velivoli, uno che sosta e l'altro no, avrebbe la precedenza quello che non sosta. Questa tesi è supportata anche dal fatto che sono diminuiti i tempi totali degli aerei di grossa taglia mentre sono aumentati i tempi di quelli medi e piccoli.

RITARDI MATURATI

	Totale*			Totale			Media*			Media			
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	
H	linea	53,390	89,790	143,190	-6,250	-31,130	-37,380	8,890	8,970	8,940	-1,040	-3,110	-2,330
	charter	38,640	126,480	165,120	12,400	6,120	18,520	2,970	6,650	5,160	0,950	0,320	0,580
	cargo												
	privati												
Totale	92,035	216,280	308,320	6,140	-24,990	-18,850	4,840	7,460	6,420	0,320	-0,860	-0,390	
M	linea	549,340	606,520	1155,850	49,190	-14,710	34,470	6,540	7,130	6,890	0,580	-0,170	0,200
	charter	384,610	528,750	913,360	-45,470	-127,940	-173,420	6,520	8,530	7,550	-0,770	-2,060	-1,430
	cargo	30,620		30,620	4,060		4,060	3,062		3,062	0,406		0,406
	privati												
Totale	964,567	1135,263	2099,829	7,778	-142,650	-134,878	6,304	7,722	6,999	0,051	-0,970	-0,449	
S	linea	121,155	462,406	583,561	11,450	-135,093	-123,639	5,267	8,257	7,386	0,498	-2,412	-1,565
	charter	73,098	257,104	330,202	-29,826	-132,148	-161,974	6,645	9,522	8,689	-2,711	-4,894	-4,262
	cargo	42,323		42,323	0,087		0,087	3,847		3,847	0,008		0,008
	privati	34,483	10,406	44,889	-4,867	10,406	5,539	5,746	10,406	6,413	-0,811	10,406	0,791
Totale	271,059	729,916	1000,975	-23,152	-256,835	-279,987	5,315	8,689	7,414	-0,454	-3,057	-2,074	
TOTALE	1327,660	2081,459	3409,118	-9,233	-424,491	-433,724	5,954	8,005	7,058	-0,041	-0,633	-0,898	

Il totale assoluto che prima valeva 3297.83 vale ora 3409.118, questo significa che sono aumentati i ritardi, infatti il totale della seconda colonna è passato da -247,67 a -433,724, significa 186 minuti di maggior ritardo.

Inoltre un velivolo che prima partiva in media con 30 secondi di ritardo ora ne parte con 54. Si nota come i ritardi accumulati sono da attribuirsi ai voli che non sostano, in quanto anche se hanno precedenza in coda, perdono ugualmente tempo.

Il ritardo totale degli aerei di media dimensione è aumentato di quasi 90 minuti e di 15 per quelli di piccole dimensioni mentre i più grossi guadagnano circa 5,3 minuti.

Altro dato da notare è il tempo totale degli aeromobili che effettuano la sosta che passa da 76,43 a -9.233, dovuto essenzialmente ai velivoli di piccole dimensioni. Il fatto si può spiegare ancora una volta con le priorità in coda.

TEMPI MEDI IN CODA

	H			M			S			TOTALE
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	
Touch down	0,349	0,540	0,465	0,225	0,336	0,278	0,243	0,459	0,377	0,325
Index										
GPU					0,034	0,017				0,001
Gatebridge on										
Deboarding										
Unload baggage										
Load baggage										
Water										
Sanitation										
Catering										
Cleaning				0,000		0,000				0,000
Fuel		0,162	0,098	0,174	0,128	0,151	0,125	0,063	0,086	0,128
ATC clearance	0,000		0,000	0,009	0,003	0,006		0,003	0,002	0,004
Take off	0,706	0,713	0,710	0,527	0,458	0,493	0,383	0,261	0,307	0,463
TOTALE	1,056	1,415	1,272	0,934	0,956	0,945	0,751	0,785	0,773	0,929

Rispetto alla tabella precedente abbiamo code anche nelle operazioni di GPU, catering e fuel. Per il generatore è un aereo solo che aspetta in coda 5 minuti, così come per la pulizia è un caso solo per un totale di 0.0387 minuti, mentre per il carburante sono 20 i voli che entrano in coda per un totale di 61.8 minuti. In media ogni aeromobile aspetta in coda poco meno di un minuto.

QUARTA SIMULAZIONE

Nella quarta prova abbiamo cambiato ancora una volta il numero dei serventi per simulare quello che succede nella realtà quando si verifica un guasto o un mal funzionamento e vedere in termini di tempo quello che succede..

Numero parcheggi:	19	Numero camion Tamoil:	2
Numero gatebridges:	7	Numero camion Agip:	2
Numero squadre handling:	2	Numero GPU:	15
Numero squadre catering:	2	Numero squadre water:	2
Numero squadre cleaning:	2	Numero operatori TWR:	1
Numero squadre sanitation:	2	Runway:	1

TEMPI DI PERMANENZA

		Totale			Media			Massimo		Minimo	
		restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	restano	ripartono
H	linea	423,41	611,19	1034,60	70,57	61,12	64,66	81,84	64,50	62,65	56,19
	charter	954,82	1108,11	2062,93	73,45	58,32	64,47	156,10	70,31	60,17	48,98
	cargo										
	privati										
	Totale	1378,23	1719,29	3097,53	72,54	59,29	64,53	156,10	70,31	60,17	48,98
M	linea	4832,26	3868,43	8250,69	52,17	45,51	48,82	90,21	67,00	39,77	48,82
	charter	3291,45	2975,29	6266,74	55,79	47,99	51,79	95,28	67,50	39,81	34,78
	cargo	528,35		528,35	52,83		52,83	67,34		42,62	
	privati										
	Totale	8202,00	6843,72	15045,78	53,61	46,56	50,15	95,28	67,50	39,77	34,78
S	linea	1153,55	2052,14	3205,70	50,15	36,64	40,58	178,40	54,26	32,36	27,70
	charter	548,21	1044,60	1592,81	49,84	38,69	41,92	70,91	55,05	40,07	25,70
	cargo	755,58		755,58	68,68		68,68	199,80		35,37	
	privati	259,54	34,50	294,05	43,26	34,50	42,01	55,24	34,50	37,64	34,50
	Totale	2716,00	3131,25	5848,13	53,27	37,27	43,32	199,80	55,05	32,36	25,70
	TOTALE	12297,17	11694,26	23991,43	55,14	44,97	49,67	199,80	70,31	32,36	25,70

Anche in questo caso, come previsto, sono aumentati i tempi di turnaround. La schema sottostante riassume i valori delle prove:

	Totale			Media		
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale
prova 1	1150.55	11514.22	23064.77	51.80	44.29	47.75
prova 3	11712.24	11601.24	23313.48	52.52	44.62	48.26
prova 4	12297.17	11694.26	23991.43	55.14	44.97	49.67

L'ultima simulazione ha aumentato i minuti di turnaround totali di 926.66 minuti rispetto alla prima prova e di 677,95 rispetto alla terza. Significa che in media ogni aereo impiega rispettivamente 2 e 1,4 minuti in più. I guadagni maggiori si registrano per gli aeromobili che effettuano la sosta e per quelli di media e piccola dimensione.

RITARDI MATURATI

	Totale*			Totale			Media*			Media			
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	
H	linea	53,93	63,36	117,29	-12,38	-26,54	-38,93	8,98	6,34	7,33	-2,06	-2,65	-2,43
	charter	54,73	132,59	187,32	17,23	-4,61	12,62	4,21	6,98	5,85	1,33	-0,24	0,39
	cargo												
	privati												
	Totale	108,65	195,96	304,61	4,85	-31,15	-26,31	5,72	6,76	6,35	0,26	-1,07	-0,55
M	linea	531,26	610,41	1141,66	53,84	-18,68	35,16	6,32	7,18	6,76	0,64	-0,22	0,02
	charter	372,09	457,34	829,43	-10,63	-150,69	-161,32	6,31	7,38	6,85	-0,18	-2,43	-1,33
	cargo	31,45		31,45	-5,65		-5,65	3,14		3,14	-0,57		-0,57
	privati												
	Totale	934,80	1067,74	2002,54	37,55	-169,37	-131,82	6,11	7,26	6,68	0,25	-1,15	-0,43
S	linea	133,67	418,49	552,16	26,43	-167,70	-141,26	5,81	7,47	6,99	1,15	-3,00	-1,79
	charter	85,21	240,23	325,93	-39,52	-144,09	-183,61	7,75	8,92	8,58	-3,59	-5,34	-1,83
	cargo	259,71		259,71	-221,26		-221,26	23,61		23,61	-20,11		-20,11
	privati	33,86	5,50	39,36	4,31	5,50	9,81	5,64	5,50	5,62	0,72	5,50	1,40
	Totale	512,15	664,71	1177,16	-230,04	-306,29	-536,33	10,05	7,91	8,72	-4,51	-3,65	-3,97
	TOTALE	1555,90	1928,42	3484,32	-187,65	-506,81	-694,46	6,98	7,42	7,21	-0,84	-1,95	-1,44

Anche per i ritardi riassumiamo l'esito delle simulazioni:

	Totale			Media		
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale
prova 1	74.43	-324.10	-247.67	0.34	-1.25	0.51
prova 3	-9.23	-424.49	-433.72	-0.04	-0.63	-0.89
prova 4	-187.65	-506.81	-694.46	-0.84	-1.95	-1.44

Ancora una volta si ha avuto un aumento di 446.79 minuti di ritardo in totale rispetto la prima simulazione e di 227.74 rispetto alla terza. Questo comporta un aumento del ritardo medio rispettivamente di 1.95 e 0.34 minuti. Come prima le differenze maggiori si registrano per i velivoli di piccole dimensioni e per quelli che effettuano la sosta, ovvero le categorie di aerei con meno priorità.

TEMPI MEDI IN CODA

	H			M			S			TOTALE
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	
Touch down	0,195	0,443	0,345	0,236	0,324	0,279	0,218	0,381	0,322	0,297
Index					0,004	0,002				0,001
GPU	5,195	1,179	2,165	0,455	0,627	0,539	9,490	0,355	3,810	1,615
Gatebridge on Deboarding					0,027	0,013				0,008
Unload baggage Load baggage				0,059	0,003	0,032				0,019
Water				0,007	0,017	0,012	0,034	0,014	0,021	0,013
Sanitation								0,027	0,017	0,004
Catering				0,019	0,081	0,049		0,049	0,030	0,039
Cleaning				0,108	0,041	0,075	0,168	0,091	0,120	0,080
Fuel		0,221	0,134	0,209	0,077	0,144	0,269	0,101	0,164	0,149
ATC clearance		0,002	0,001	0,005	0,008	0,006	0,001	0,007	0,005	0,005
Take off	1,069	0,573	0,769	0,546	0,501	0,524	0,385	0,298	0,331	0,494
TOTALE	6,640	1,421	3,415	1,645	1,712	1,678	10,570	1,323	4,810	2,728

Il tempo medio in coda è aumentato di circa 2 minuti dalla prima prova e di 1,8 rispetto alla terza. Le ore in coda in totale corrispondono a 22, nella prova precedente erano di 7 ore e mezza e 6 ore e venti minuti nella prima simulazione.

I più penalizzati risultano essere i piccoli aerei che effettuano la sosta con in media ben 10,57 minuti di coda seguiti da quelli più grossi con in media 6,64 minuti. La causa di questi ritardi è da attribuirsi all'attesa del generatore che registra i valori maggiori ed è anche la causa dei ritardi mostrati nella tabella precedente, in quanto senza una GPU l'aereo non può (in teoria) nemmeno far scendere i passeggeri ma deve obbligatoriamente aspettare che se ne liberi uno.

Riportiamo ora le frequenze, il tempo totale e il tempo medio per i soli aerei che entrano in coda:

	Frequenze:	Totale:	Media:
Touch down:	106	143.60	1.35
Index:	1	0.62	0.62
GPU:	26	780.14	30.01
Gatebridge on:	1	4.02	4.02
Deboarding:	0		
Unload baggage:	3	9.56	3.18
Load baggage:	0		
Water:	6	6.46	1.077
Sanitation:	2	2.24	1.12
Catering:	9	18.92	2.10
Cleaning:	17	38.76	2.28
Fuel:	13	71.93	5.53
ATC clearance:	114	2.65	0.19
Take off:	170	238.91	1.41

Le operazioni di atterraggio e di decollo sono strettamente legate al fatto che esiste una sola runway e non possiamo quindi eliminare tali ritardi. Per le altre operazioni invece si può decidere il numero di serventi ottimale in base al traffico aereo. In particolare la tabella evidenzia due attività critiche: quella della GPU e quella del rifornimento. Per i generatori la soluzione consisterebbe di adottarne uno per ogni parcheggio utilizzato, si è visto infatti che un numero limitato aumenta di molto i ritardi e tempi in coda. Per il carburante la questione è un po' diversa in quanto i ritardi non sono così pesanti come per la GPU, anche se rimane comunque un'operazione particolarmente delicata. Altre operazioni critiche risultano essere quelle di catering e di cleaning che però vengono

effettuate contemporaneamente al rifornimento (operazione molto più lunga), infatti i tempi in coda passati ad aspettare una squadra di catering o cleaning non influenzano in genere il tempo totale di turnaround perché coperti dall'attività di fuel.

QUINTA SIMULAZIONE

Proviamo ora, con le informazioni ricavate dalle prove precedenti, a realizzare un'ultima simulazione cercando di minimizzare il numero delle risorse per quelle operazioni che si sono dimostrate più flessibili di altre.

In particolare si è notato come sia pericoloso ridurre il numero di serventi per le attività iniziali come il numero di parcheggi, quello dei generatori, il numero di gatebridges e tutte quelle operazioni in cui la risorsa viene occupata per un lungo periodo di tempo e per il cui rilascio c'è da aspettare in coda parecchi minuti.

Cercheremo allora di ridurre il numero di squadre per il water, per la sanitation, per il cleaning e il catering che in ogni caso sono operazioni risolvibili in un intervallo di tempo maggiore del loro effettivo tempo di esecuzione.

Numero parcheggi:	19	Numero camion Tamoil:	3
Numero gatebridges:	8	Numero camion Agip:	3
Numero squadre handling:	2	Numero GPU:	19
Numero squadre catering:	2	Numero squadre water:	1
Numero squadre cleaning:	2	Numero operatori TWR:	1
Numero squadre sanitation:	1	Runway:	1

L'obiettivo di questa ultima prova è di ottenere tempi di permanenza nel sistema e ritardi in partenza simili alle prime due simulazioni, lasciando che si formino code solo in quelle operazioni in cui è stato ridotto il numero delle risorse, senza causare ulteriori ritardi.

Vediamo subito i tempi di turnaround:

TEMPI DI PERMANENZA

	Totale			Media			Massimo		Minimo		
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	restano	ripartono	
H	linea	409,08	606,47	1015,68	68,20	60,65	63,48	78,32	66,00	62,01	55,74
	charter	852,48	1097,82	1950,31	65,58	57,78	60,95	78,31	63,00	59,44	47,28
	cargo										
	privati										
	Totale	1261,70	1704,29	2965,99	66,41	58,77	61,79	78,32	66,00	59,44	47,28
M	linea	4346,37	3823,72	8170,09	51,74	44,98	48,34	79,30	58,03	38,04	35,90
	charter	3212,52	2899,20	6111,71	54,00	46,89	51,01	75,88	58,70	38,34	37,71
	cargo	515,65		515,65	51,57		51,57	67,34		42,62	
	privati										
	Totale	8074,54	6722,91	14797,45	52,77	45,73	49,32	79,30	58,70	38,04	35,90
S	linea	973,10	2018,44	2991,54	42,31	36,04	37,87	67,25	56,19	32,08	27,54
	charter	527,36	1019,12	1546,48	47,94	37,75	40,70	62,27	54,50	40,42	25,70
	cargo	460,36		460,36	41,85		41,85	52,01		35,79	
	privati	263,02	34,50	297,52	43,84	34,50	42,50	61,35	34,50	34,64	34,50
	Totale	2223,84	3072,06	5295,90	43,60	36,57	39,23	67,25	56,19	32,08	25,70
	TOTALE	11560,07	11499,26	23059,34	51,84	44,23	47,74	79,30	66,00	32,08	25,70

Come previsto i tempi sono praticamente gli stessi della tabella della prima simulazione.

La media complessiva è di 47.74 minuti e il tempo totale ammonta a 23059.34 contro, rispettivamente i 47.75 e i 23064.77 minuti della prima prova.

RITARDI MATURATI

		Totale*			Totale			Media*			Media		
		restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale
H	linea	36,08	58,24	94,32	2,61	-21,91	-19,30	6,01	5,82	5,89	0,44	-2,19	-1,21
	charter	52,25	116,05	168,30	31,08	5,68	36,76	4,02	6,11	5,26	2,39	0,30	1,15
	cargo												
	privati												
Totale		88,33	174,29	262,62	33,70	-16,24	17,46	4,65	6,01	5,47	1,77	-0,56	0,36
M	linea	563,91	607,79	1171,70	47,38	29,13	76,51	6,71	7,15	6,93	0,56	0,34	0,45
	charter	343,46	394,81	738,26	5,49	-78,13	-72,64	5,82	6,37	6,10	0,09	-1,26	-0,60
	cargo	37,44		27,44	-2,95		-2,95	3,74		3,74	-0,29		-0,29
	privati												
Totale		944,80	1002,60	1947,40	49,91	-48,99	0,91	6,17	6,82	6,49	0,33	-0,33	0,00
S	linea	115,87	391,06	506,93	36,51	-132,95	-96,45	5,04	6,98	6,41	1,58	-2,37	-1,22
	charter	59,05	212,76	271,81	-23,78	-123,37	-147,12	5,36	7,88	7,15	-2,16	-4,57	-3,87
	cargo	45,67		45,67	-0,20		-0,20	4,15		4,15	-0,02		-0,02
	privati	37,87	5,50	43,37	-0,05	5,50	0,45	6,31	5,50	6,19	-0,84	5,50	0,06
Totale		258,46	609,32	867,78	7,50	-250,82	-243,32	5,06	7,25	6,42	0,15	-2,98	-1,80
TOTALE		1291,60	1786,20	3077,80	91,12	-316,05	-224,94	5,79	6,87	6,37	0,41	-1,21	-0,46

Anche in questo caso la tabella rispecchia perfettamente quella della prima simulazione con un ritardo medio di circa 30 secondi per aeromobile.

Come nelle prove precedenti i più penalizzati sono gli aerei di piccola dimensione che non effettuano la sosta e totalizzano un ritardo complessivo di 250.82 minuti contro i 242.42 precedenti.

TEMPI MEDI IN CODA

	H			M			S			TOTALE
	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	restano	ripartono	totale	
Touch down	0,246	0,446	0,367	0,251	0,327	0,288	0,221	0,425	0,348	0,313
Index				0,003	0,002					0,010
GPU										
Gatebridge on				0,003	0,001					0,001
Deboarding										
Unload baggage				0,067	0,017	0,042				0,026
Load baggage										
Water	0,208	0,490	0,379	0,219	0,032	0,269	0,545	0,459	0,492	0,342
Sanitation		0,101	0,061	0,053	0,082	0,067	0,290	0,304	0,299	0,132
Catering		0,021	0,012	0,024	0,007	0,016		0,033	0,021	0,017
Cleaning				0,023	0,019	0,022	0,087	0,069	0,076	0,035
Fuel										
ATC clearance				0,006	0,006	0,006	0,014		0,006	0,005
Take off	0,356	0,591	0,657	0,446	0,355	0,399	0,427	0,329	0,367	0,416
TOTALE	0,810	1,909	1,474	1,092	1,137	1,114	1,588	1,621	1,608	1,288

Abbiamo visto finora come i tempi del turnaround e i ritardi complessivi siano molto simili alla prima simulazione nella quale avevamo a disposizione un numero illimitato di risorse.

La tabella riporta come tempo medio passato in coda 1.288 minuti per aereo rispetto i 0.791 della prova libera. Questo dimostra che gli aeromobili devono attendere per usufruire dei servizi, ma solo relativamente a quelle attività che non modificano il tempo totale di permanenza nell'aeroporto.

Queste attività sono lo scarico dei bagagli, il rifornimento di acqua fresca, la pulizia dei bagni, del velivolo e il catering; mentre non si verificano code per quelle operazioni (GPU e fuel) che nella prova precedente avevano causato grossi ritardi.

La tabella riporta, per ogni operazione, le frequenze, il tempo totale e quello medio per gli aerei che entrano in coda:

	Frequenze:	Totale:	Media:
Touch down:	112	151.17	1.35
Index:	1	0.47	0.47
GPU:	0		
Gatebridge on:	1	0.46	0.46
Deboarding:	0		
Unload baggage:	5	12.77	2.55
Load baggage:	0		
Water:	83	165.29	1.99
Sanitation:	54	63.68	1.18
Catering:	7	8.26	1.18
Cleaning:	9	38.76	2.28
Fuel:	0		
ATC clearance:	9	2.60	0.29
Take off:	161	200.72	1.25

Non si verificano più grosse perdite di tempo come nella prova precedente, al massimo in media si arriva a 2.55 minuti di attesa per il servizio di scarico dei bagagli.

Il fatto di aspettare in coda per questi servizi comunque non peggiora in alcun modo le prestazioni del nostro modello.

CONCLUSIONI

Il programma ha una grande duttilità in quando sono tanti gli elementi di input che si possono variare con il piano di volo, con il numero di serventi, con il tempo di durata delle operazioni e quello delle soste. Noi ci siamo limitati a variare il numero delle risorse aeroportuali con il fine di evitarne gli sprechi e di limitare per quanto possibile i ritardi. Per fare ciò abbiamo dovuto eseguire il programma con lo stesso numero di voli e le stesse caratteristiche. Se lo avessimo cambiato non sarebbe più stato possibile confrontare tra loro i risultati delle simulazioni.

Tutti i tempi e i risultati ottenuti sono strettamente legati a questo piano di volo. Il motivo è il fatto che il numero di aerei, il tipo, la dimensione, i ritardi, l'ora di arrivo e quella di partenza erano dati di input del programma. Tutte le conclusioni e le considerazioni sono state fatte tenendo conto di questo importante particolare.

Possiamo affermare che ci sono operazioni che sono risultate più delicate di altre in quanto avere delle code in queste attività si è rivelato dannoso perchè hanno avuto un impatto diretto sul tempo totale di turnaround, che resta il primo strumento per valutare la bontà del modello.

Le operazioni più "pericolose" sono risultate essere le prime della catena (il numero di GPU nella quarta prova ne è un chiaro esempio) assieme al rifornimento, che rimane tra tutte la più lunga. Il numero di serventi in queste attività è molto importante perché un aereo se ne serve per un lungo periodo di tempo e questo comporta, per coloro che devono aspettare lo stesso servizio, un lungo tempo di attesa.

Altre operazioni quali il catering, il cleaning, e soprattutto la sanitation e il water sono attività più flessibili, questo perché sono più brevi e soprattutto possono essere svolte in un intervallo di tempo maggiore rispetto al tempo effettivo di esecuzione. Significa che se devo aspettare 5 minuti per la squadra che viene a pulire i bagni questo non incide sul tempo totale di turnaround. Se invece devo aspettare 5 minuti il camion per il rifornimento questo tempo viene a sommarsi interamente a quello di turnaround.

Nella quinta prova abbiamo cercato di mettere in pratica quello che avevamo visto nei tests precedenti e si può dire che il risultato finale è da ritenersi soddisfacente visto che pur avendo limitato il numero di serventi e aver ottenuto delle code siamo riusciti a mantenere bassi i tempi di permanenza nel sistema.

BIBLIOGRAFIA

AIRPORT SYSTEMS Odoni, De-Neufville, Richard 2003 McGraw-Hill

AIRPORT ENGINEERING Norman Ashford, Paul H. Wright terza edizione
A Wiley-Interscience Publication

AIRPORT LOGISTICS -INTEGRATION OF ATM AND GROUND PROCESSES-
Anna Lindh, Tobias Andersson, Peter Varbrand and Di Yuan
Department of Science and technology
Linköping University, Norrköping, Sveden

Il sito dell'aeroporto Valerio Catullo:

www.aeroporto.verona.it

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il mio amico Diego Paschetto per il tempo dedicatomi, per le spiegazioni e le informazioni che mi ha fornito sull'aeroporto di Villafranca e sul suo funzionamento.