

POLITECNICO DI MILANO

Corso di laurea in Ingegneria delle infrastrutture e dei trasporti



POLITECNICO
MILANO 1863

ANALISI STATICA E DINAMICA PER LA STIMA DELLA
CAPACITÀ AEROPORTUALE LAND-SIDE

Relatore: Roberto Maja

Correlatore: Paola Astegiano

Francesca Sirtori

Tesi di laurea di: Chiara Gargano

matricola n°929626

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Indice

INTRODUZIONE.....	5
LA CAPACITÀ AEROPORTUALE.....	7
MISURA DELLA CAPACITÀ	9
<i>Capacità Landside</i>	9
LIVELLI DI SERVIZIO LOS	11
<i>IATA e la 11° edizione del manuale ADRM</i>	11
STATO DELL'ARTE	14
METODI DI ANALISI DELLA CAPACITÀ AEROPORTUALE	14
<i>Analisi statica</i>	14
<i>Analisi dinamica</i>	15
CASO STUDIO	17
INTRODUZIONE	17
SCENARIO 1: NORMALE ESERCIZIO.....	19
ANALISI STATICA.....	19
<i>Metodologia di analisi</i>	21
<i>Valutazione del TPHP</i>	21
<i>Hall Partenze</i>	23
<i>Area check-in</i>	26
<i>Baggage Drop off</i>	35
<i>Area Controlli Sicurezza</i>	38
ANALISI DINAMICA	41
<i>Progettazione del modello aeroportuale</i>	41
<i>Composizione del traffico di passeggeri</i>	43

<i>Pedestrian routes</i>	46
<i>Simulazione</i>	49
<i>Individuazione del LoS dei sottosistemi</i>	51
CONFRONTO DEI RISULTATI	57
SCENARIO 2: EMERGENZA COVID	59
ANALISI STATICA.....	60
<i>Hall Partenze</i>	62
<i>Area check-in</i>	63
<i>Banchi Check-in</i>	64
<i>Baggage Drop off</i>	65
<i>Area Controlli Sicurezza</i>	66
INTRODUZIONE DEI VINCOLI COVID-19.....	67
ANALISI DINAMICA	73
<i>Progettazione del modello aeroportuale</i>	73
<i>Simulazioni</i>	75
<i>Simulazione con 65% della capacità</i>	76
<i>Simulazione con 80% della capacità</i>	80
CONFRONTO DEI RISULTATI.....	84
CONCLUSIONI.....	85
BIBLIOGRAFIA	90
INDICE DELLE TABELLE.....	92
INDICE DELLE FIGURE	94

Introduzione

L'obiettivo di questa tesi è confrontare due metodi di calcolo della capacità aeroportuale: Analisi Statica e Analisi Dinamica.

A tal fine, i due metodi sono stati valutati in due diversi scenari, il primo scenario fa riferimento ad operazioni di normale esercizio mentre il secondo a un evento eccezionale. Nel contesto della pandemia di coronavirus COVID-19, tali scenari possono essere considerati coincidenti con uno scenario "Pre-Covid" e uno "Covid".

Ad oggi, il calcolo della capacità aeroportuale è molto legato all'analisi statica, un metodo storico collaudato, basato su formule empiriche dettate dalla International Air Transport Association (IATA) mentre l'analisi dinamica è un metodo ancora poco utilizzato in quanto attualmente non presenta delle linee guida specifiche. Ciononostante, si tratta di un metodo all'avanguardia che utilizza pacchetti software per simulare una grande varietà di situazioni ordinarie e non ordinarie e può incorporare una vasta gamma di informazioni relative al caso di studio specifico, come ad esempio il layout dell'aeroporto, i percorsi di entrata/uscita, le caratteristiche dei passeggeri, ecc.

La prima fase del lavoro è stata comparare le due analisi nello scenario "Pre-Covid".

Si è fatto poi riferimento a un evento eccezionale: uno Scenario Covid in cui la situazione di normale esercizio è stata perturbata da un'emergenza in atto. In tale situazione di emergenza, per poter debellare il virus, sono stati limitati in primis tutti i viaggi non necessari. Questo si è tradotto in una riduzione dei passeggeri rispetto al 2019 di circa il 70 % (EUROCONTROL, 2020). Si prevede che in un

futuro prossimo pur potendo ricominciare a viaggiare sarà comunque necessario effettuare controlli sanitari, rispettare il distanziamento sociale e le norme igieniche.

In quest'ottica, tale lavoro di tesi, si propone anche di individuare la capacità massima che un aeroporto tipo è in grado di soddisfare, nel rispetto delle misure Covid e senza prevedere modifiche al sistema.

La capacità aeroportuale

Esistono molteplici definizioni della capacità aeroportuale che di fatto si traducono nella determinazione del numero di “movimenti/ora” che interessano un’infrastruttura aeroportuale.

L’ICAO¹ definisce la capacità come:

“Il numero di movimenti per unità di tempo che possono essere accettati durante le diverse condizioni meteorologiche”.(EUROCONTROL, 2016)

Come risulta evidente, questa definizione reca in sé un’ambiguità in quanto lega il parametro Capacità a un fattore variabile quale le condizioni meteorologiche. Se ne deduce che non è consigliabile subordinare la definizione a specifiche condizioni. L’obbiettivo, infatti, è quello di fornire un unico valore generale di capacità rappresentativo delle potenzialità di un aeroporto al massimo delle sue possibilità.

L’ACI² definisce la capacità come:

“Numero massimo di movimenti degli aeromobili per ora, presupponendo un ritardo medio di non più di 4 minuti, od un altro tempo di ritardo che l’aeroporto può impostare”(EUROCONTROL, 2016)

Questa definizione, come nella precedente, vincola il concetto di Capacità a un fattore che in tal caso è il ritardo, di conseguenza si perde l’accezione di idealità e valgono gli stessi ragionamenti fatti precedentemente.

¹ International Civil Aviation Organization

² Airport Council International

La FAA³ nella circolare AC 150/5060-5 definisce la capacità come:

“la misura del numero massimo di operazioni di volo che possono essere effettuate sull'aeroporto o sul componente aeroportuale in un'ora.” (FAA, 2007)

Con tale definizione, il significato di capacità viene svincolato da fattori di circostanza. Inoltre, è anche specificato che la capacità di un componente aeroportuale è indipendente dalla capacità delle altre componenti aeroportuali e dunque questa può essere calcolata separatamente.

Pertanto, tale definizione risulta essere un parametro che valuta le potenzialità dell'infrastruttura aeroportuale e in quanto tale utile per la stima della capacità delle piste ma anche per quella di altri elementi come le vie di rullaggio, i gates, ecc.

³ Federal Aviation Administration

Misura della capacità

La capacità di un aeroporto dipende principalmente dalla capacità dei due suoi più importanti sottosistemi, il sottosistema aerostazione passeggeri (terminal) ed il sottosistema relativo all'area operativa (airside), costituito dall'insieme delle piste di volo, dalle piste di rullaggio e dalle aree di sosta dei velivoli. Altre infrastrutture aeroportuali come quelle di collegamento con la viabilità ordinaria o quelle di supporto/soccorso alla movimentazione aerea, tranne in casi specifici, non danno usualmente luogo ad evidenti limitazioni della capacità dell'infrastruttura complessivamente intesa (Nichele, 2014). Questo report tratta specificamente il tema della valutazione della capacità landside circostanziandola a tutte le attività interne al terminal che vengono svolte dal passeggero fino ai controlli di sicurezza inclusi.

Capacità Landside

Il landside è una complessa raccolta di singoli componenti funzionali, come l'accesso a terra, il parcheggio, il check-in, il ritiro bagagli e i sistemi di supporto (ad esempio, fornitura di acqua, fognatura e alimentazione elettrica) che interagiscono tra loro.

La capacità a terra si riferisce alla capacità di questi componenti funzionali (individualmente e lavorando insieme come un sistema aeroportuale, compreso il personale e tutte le altre attività correlate) di soddisfare le richieste di passeggeri, visitatori, merci e aerei.

Risulta necessaria una considerazione: Tutti i componenti a terra sono importanti per il funzionamento soddisfacente di un aeroporto, ma solo alcuni componenti possono diventare strozzature e causare affollamento, ritardi o comunque essere indice di capacità inadeguata. I ristoranti, i servizi igienici e le edicole sono servizi pubblici essenziali, eppure raramente sono una base per la misurazione della capacità. Lo studio del Transportation Research Board (TRB)⁴ si è concentrato sui seguenti componenti come il focus della maggior parte delle valutazioni della capacità di terra: (Andrew C. Lemer, 1987)

- Check-in
- Controllo bagagli
- Ritiro bagagli
- Controlli di sicurezza
- Controllo passaporti
- Dogana

Come specificato da FAA la capacità di un singolo componente aeroportuale è indipendente dalla capacità delle altre componenti aeroportuali e dunque questa può essere calcolata separatamente (FAA, 2007). Ciò nonostante, se mal progettate o se esposte a carichi troppo elevati esse possono diventare dei veri e propri colli di bottiglia causando, di conseguenza, ritardi ed affollamenti, diventando vincoli per la capacità landside.

⁴ La missione del Transportation Research Board è quella di fornire la leadership nell'innovazione e nel progresso dei trasporti attraverso la ricerca e lo scambio di informazioni, condotto all'interno di un ambiente che è obiettivo, interdisciplinare e multimodale.(The National Academies of Engineering)

Livelli di servizio LoS

IATA e la 11° edizione del manuale ADRM

L'International Air Transport Association (IATA) è l'organizzazione internazionale delle compagnie aeree a cui oggi aderiscono più di 230 vettori che svolgono servizi di linea (pari al 93% del traffico aereo mondiale). Essa rappresenta la prima associazione per la cooperazione fra le compagnie aeree al fine di promuovere e offrire servizi sicuri, affidabili ed economici a beneficio dei consumatori (ENAC, 2017). IATA, con la redazione del manuale "Airport Development Reference Manual" (ADRM), fornisce una guida per lo sviluppo delle infrastrutture aeroportuali. Quest'ultimo viene costantemente aggiornato ed al momento è giunto all'11a edizione. Nel manuale ADRM è presente il concetto di livelli di servizio (LoS), strumento fondamentale per progettare e valutare la qualità del servizio nei Terminal. I LoS rappresentano i requisiti minimi richiesti per i singoli sottosistemi in termini di spazio e di tempo di attesa. Nell'11a edizione del ADRM, IATA distingue 4 categorie (IATA and ACI, 2017):



Figura 1: Categorie LoS IATA

Al fine di attribuire una categoria LoS a un determinato sottosistema si utilizza una matrice bidimensionale Spazio-Temporale, in cui si valutano in maniera congiunta le due variabili principali di spazio e tempo di attesa:

		SPACE		
		Over-Design	Optimum	Sub-Optimum
MAXIMUM WAITING TIME	Over-Design	OVER-DESIGN	Optimum	SUB-OPTIMUM ▶ Consider Improvements
	Optimum	Optimum	OPTIMUM	SUB-OPTIMUM ▶ Consider Improvements
	Sub-Optimum	SUB-OPTIMUM ▶ Consider Improvements	SUB-OPTIMUM ▶ Consider Improvements	UNDER-PROVIDED ▶ Reconfigure

Tabella 1: LoS Categorization

Le 4 categorie indicano dunque situazioni di:

- **Over Design**, in arancione, rappresenta una situazione di sovradimensionamento del Terminal con eccessivi spazi vuoti e previsioni eccessivamente basse dei tempi di attesa. In questi casi il sistema non risulta efficiente per il gestore;
- **Optimum**, in verde, rappresenta la situazione ottimale in cui i tempi di attesa sono accettabili e gli spazi sono sufficienti ad espletare tutte le operazioni connesse al volo in un ambiente confortevole.
- **Sub-Optimum**, rappresentata con il colore giallo, prevede una situazione in cui gli spazi sono affollati e scomodi ma i tempi di attesa risultano accettabili o addirittura sovrastimati oppure al contrario tempi di attesa inaccettabili ma spazi o sufficienti e confortevoli o al più eccessivi. In questi casi è necessario apportare dei miglioramenti al sistema;
- **Under-Provided**, in rosso, indica una situazione in cui si hanno spazi scomodi e affollati e tempi di elaborazione e di attesa inaccettabili.

A questo punto per ciascuna categoria e per ciascun sottosistema, IATA fornisce dei valori limite di spazio (mq/pax) e di tempo di attesa (minuti). È da notare come per garantire una maggiore flessibilità non si tratti di valori assoluti ma di range di valori.

Passenger Terminal Sub-System	SPACE STANDARDS FOR WAITING AREAS (m ² /pax)			WAITING TIME STANDARDS FOR PROCESSING FACILITIES (Minutes)			WAITING TIME STANDARDS FOR PROCESSING FACILITIES (Minutes)		
	Over design	Optimum	Sub Optimum	Economy Class			Business Class / First Class		
ADRM 10th Edition - LoS parameter:	Over design	Optimum	Sub Optimum	Over design	Optimum	Sub Optimum	Over design	Optimum	Sub Optimum
Public Departure Hall	> 2.3	2.0 - 2.3	< 2	n/a			n/a		
Self-Service kiosk (Boarding Pass / Tagging)	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 1	1 - 2	> 2	< 1	1 - 2	> 2
Bag Drop Desk (queue width 1.4 - 1.6 m)	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 1	1 - 5	> 5	< 1	1 - 3	> 3
Check-in	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 10	10 - 20	> 20	Business Class Check-in Desk		
							< 3	3 - 5	> 5
							First Class Check-in Desk		
							< 1	1 - 3	> 3
Security Checkpoint (queue width 1.2 m)	> 1.2	1.0 - 1.2	< 1	< 5	5 - 10	> 10	Fast Track		
							< 1	1 - 3	> 3

Tabella 2: LoS Guidelines

I LoS rappresentano dunque una solida guida per la progettazione di nuove strutture o per la valutazione delle prestazioni operative delle strutture esistenti. IATA raccomanda di progettare in categoria OPTIMUM; rispettando tale prerequisito si garantiscono servizi efficaci ed efficienti.

Stato dell'arte

Metodi di analisi della capacità aeroportuale

Rispetto alla capacità airside, il calcolo della capacità landside non presenta linee guida generalmente accettate (Transportation research board, 1987). Per valutare la capacità landside i metodi principali sono la simulazione software e i manuali empirici. I primi permettono di simulare situazioni estremamente flessibili potendo incorporare una vasta gamma di informazioni come il layout specifico di un aeroporto, i percorsi di entrata ed uscita, le code, le procedure aeroportuali ecc. I costi e il consumo di tempo sono gli svantaggi degli approcci di simulazione dinamica: per questo sono utilizzati nelle fasi avanzate del progetto, quando è richiesta un'elevata precisione di calcolo. Potrebbero essere fondamentali per studiare situazioni particolari, ad esempio quelle relative alla gestione delle emergenze COVID-19. Tra i metodi empirici invece i più utilizzati sono le direttive dell'Amministrazione federale dell'aviazione (FAA) e i manuali dell'Associazione Internazionale del Trasporto Aereo (IATA)(IATA, 2019). (Di Mascio, Moretti and Piacitelli, 2020)

Analisi statica

L'analisi statica rappresenta un procedimento storico, collaudato che si basa su formule empiriche fornite da IATA. Seguendo le linee guida IATA (IATA and ACI, 2017), il livello di servizio (LoS) a cui fare riferimento per la progettazione è quello di Optimum; fissare tale parametro significa progettare prevedendo condizioni di flusso stabile, pochi ritardi ed un buon livello di comfort. Fissato il LoS OPTIMUM, dalle tabelle fornite da IATA (IATA 2017b) si ricavano due

parametri fondamentali, il tempo di attesa massimo del singolo passeggero e lo spazio minimo necessario per ciascuno. Questi valori insieme ad altri parametri quali il tempo di processamento, il numero di sedute, il numero di accompagnatori ecc. rappresentano i dati input da inserire all'interno delle formule empiriche per il calcolo della capacità (Di Mascio, Moretti and Piacitelli, 2020). In output si ottengono le dimensioni minime da destinare a ciascun sottosistema e il numero di facilities necessarie a proporre ai passeggeri un servizio efficace ed efficiente.

Le linee guida su cui si basa l'analisi statica sono riportate nel manuale ADMR, costantemente aggiornato e al momento giunto all'11a edizione. Nel seguente lavoro di tesi, grazie alla collaborazione con la società "One Works", è stato possibile consultare il seguente manuale, non reperibile online.

Analisi dinamica

L'analisi dinamica è un metodo all'avanguardia che consente il calcolo della capacità aeroportuale mediante l'utilizzo di software di simulazione specifici. Le simulazioni permettono alle organizzazioni del settore di analizzare i loro servizi in un ambiente virtuale, con lo scopo di soddisfare gli obiettivi di flusso dei passeggeri al minor costo possibile e con il minor rischio di sicurezza raggiungibile. (FlexSim, 2021) (Airport Research Center, 2021)

Ad oggi, sono presenti innumerevoli software di simulazione. Per questa tesi è stato utilizzato come supporto all'analisi dinamica il software "PTV Viswalk" (software di simulazione utilizzato dalla società One-works). È un programma per la simulazione microscopica dei pedoni che permette di analizzare la struttura esistente (ostacoli inclusi) e il comportamento delle persone all'interno

di quest'ultima. (PTV GROUP, 2018). Il software PTV Viswalk restituisce in output il numero massimo di persone che la struttura può contenere e il tempo di attesa massimo di un passeggero in coda a un relativo sottosistema. Tale valore confrontato con i valori limite (range di LoS OPTIMUM) proposti da IATA permette di modellare il sistema nella maniera ottimale.

Avendo valutato lo stato di avanzamento delle due analisi, si è deciso di finalizzare il lavoro di tesi ad approfondire pro e contro delle due metodologie di calcolo.

Caso studio

Introduzione

L'obiettivo della tesi è effettuare un confronto tra i metodi di indagine della capacità aeroportuale: Analisi Statica e Analisi Dinamica.

A tale scopo i due metodi sono stati valutati su due scenari differenti, uno di normale esercizio e uno straordinario. Questi ultimi, calati nella realtà epidemica che stiamo vivendo, coincidono con uno scenario "Pre-Covid" e uno "Covid".

Lo studio applicativo, svolto in collaborazione con One Works, Società di progettazione e consulenza, ha previsto come primo step la creazione di un algoritmo implementato in Excel per l'analisi statica della capacità di un terminal. Per valutare la capacità landside dell'intero sistema è necessario effettuare preventivamente il calcolo della capacità relativo ai singoli sottosistemi. Per ciascuno di essi il calcolo è stato pianificato con l'obiettivo di raggiungere il livello Optimum. Facendo riferimento al livello ottimale è possibile ricavare dalle tabelle IATA lo spazio necessario a ciascun sottosistema. Nella prima fase del lavoro, lo scenario di riferimento è stato quello di normale esercizio che nell'ottica della pandemia in atto rappresenta uno scenario Pre-covid in cui non sono presenti provvedimenti restrittivi di alcun genere. Il secondo step ha riguardato il medesimo calcolo della capacità, nello stesso scenario ma con il nuovo metodo di analisi dinamica e con il supporto del software "PTV Viswalk". I due metodi si focalizzano su aspetti differenti, per cui come sarà illustrato nei prossimi paragrafi è interessante valutare i diversi risultati.

Lo stesso confronto tra i due metodi di indagine è stato implementato (terzo step: analisi statica dello scenario 2 e quarto step: analisi dinamica dello scenario 2) anche in un secondo scenario, uno scenario Covid in cui la situazione di normale esercizio è stata perturbata da un'emergenza in atto. In particolare, la pandemia ha causato una riduzione della capacità aeroportuale di circa il 70 % oltre a rendere necessario introdurre una serie di vincoli, primo tra tutti il distanziamento sociale, per garantire la sicurezza del singolo e della società.

In questa nuova condizione è stato riproposto il confronto tra le due modalità di indagine.

Scenario 1: normale esercizio

Analisi statica

Di seguito viene proposto uno studio del Terminal, scomposto nei diversi sottosistemi funzionali che lo compongono. Lo scopo è determinarne la capacità effettiva, espressa in termini di “numero di passeggeri/ora” e dimensionarne i vari sottosistemi. A tal fine, sono stati applicati gli algoritmi di dimensionamento sviluppati da IATA, relativamente ai differenti sottosistemi del terminal passeggeri e compatibilmente con i livelli di servizio adeguati.

Come già spiegato nei capitoli precedenti tutti i componenti a terra sono importanti per il funzionamento soddisfacente di un aeroporto, ma solo alcuni componenti possono diventare strozzature. I ristoranti, i servizi igienici e le edicole sono servizi pubblici essenziali, eppure raramente sono una base per la misurazione della capacità. In particolare, tra tutti i sottosistemi, nel seguente studio si è deciso di focalizzare l’attenzione su:

1. hall partenze
2. Area check-in self-service
3. Area check-in tradizionale
4. Area drop-off
5. Area controlli di sicurezza per l’accesso alle sale imbarchi

Il livello di servizio a cui fare riferimento per la progettazione è quello di Optimum; fissare tale parametro significa progettare prevedendo condizioni di flusso stabile, pochi ritardi ed un buon livello di comfort. Inoltre, facendo riferimento alle tabelle IATA, fissato il LoS è possibile ricavare una serie di

parametri legati al tempo di attesa massimo dei passeggeri e allo spazio necessario per ciascuno. Il quadro strutturale del Los deve essere però applicato al periodo più carico dell'anno che non corrisponde con i valori di punta massimi in quanto in tal caso il sistema risulterebbe sovradimensionato.

Si introduce dunque un nuovo parametro, il TPHP (traffic peak hour passenger), ora di punta tipica del traffico passeggeri, un valore utilizzato tradizionalmente per l'attività di pianificazione dei Terminal. In particolare, con il termine "TPHP", (Ashford, N. J. & Wright, 1992) si intende il volume di traffico passeggeri dell'ora di punta del giorno medio del mese di punta. Tale valore è associato al 90.mo percentile della capacità, ovvero dimensionando le infrastrutture per tale valore, si verrà a soddisfare con prestabiliti livelli di servizio la domanda del traffico passeggeri dell'ora di punta per il 90% del tempo. (Di Mascio, Moretti and Piacitelli, 2020)

Metodologia di analisi

Per lo scenario Covid si è deciso di effettuare l'analisi su un aeroporto generale di medie dimensioni, il cui traffico medio annuo è stato ragionevolmente ipotizzato essere pari a 20 milioni di pax/anno.

Valutazione del TPHP

Il valore tipico del traffico di passeggeri all'ora di punta (TPHP, "Typical peak hour passengers") può essere definito con vari metodi, tra questi è stato scelto il metodo FAA che prevede di calcolarlo come valore percentuale del traffico medio annuo di passeggeri, secondo la tabella di seguito riportata: (Denisiano, 2017)

Passeggeri Annuali (in milioni Pax)	TPHP come percentuale di traffico annuale
>30	0.035%
20 - 29.99	0.040%
10 - 19.99	0.045%
1 - 9.99	0.050%
0.5 - 0.99	0.080%
0.1 - 0.49	0.130%
<0.1	0.200%

Tabella 3: Typical peak hour passengers

Per un flusso passeggeri annuo pari a circa 20 milioni, il valore di traffico nell'ora

di punta risulta pari a 8.000 pax/ora. A partire dal valore riferito alla punta oraria, sono state successivamente determinate le singole componenti orarie partenze e Schengen/extra Schengen, che sono di seguito elencate.

- Il picco orario passeggeri per la singola componente partenze che rappresenta il 65% del picco totale passeggeri, pari a 5200 pax/ora [DPHP].
- Il picco orario partenze per i flussi Schengen rappresentato dal 55% del picco unidirezionale complessivo, pari a 2.860 pax/ora, [DPHP_S].
- Il picco orario partenze per i flussi extra-Schengen rappresentato infine dal 40% del picco unidirezionale complessivo, pari a 2.080 pax/ora, [DPHP_X].

Si fa presente che le percentuali delle singole componenti sono ipotizzate partendo da valori provenienti dall'esperienza di "One-Works".

Definito tale parametro è stato possibile analizzare i vari sottosistemi.

Hall Partenze

La hall partenze rappresenta l'atrio landside che ospita tutti i passeggeri in partenza e i loro accompagnatori prima di recarsi all'area check-in e/o ai controlli di sicurezza nel caso il check-in sia già stato fatto online. Il tempo di permanenza da parte dei passeggeri e degli accompagnatori in questa area risulta essere molto variabile a seconda che il passeggero si presenti con solo il bagaglio a mano, senza la necessità di effettuare l'accettazione, o che invece giunga in aeroporto con notevole anticipo rispetto alla partenza del proprio volo.

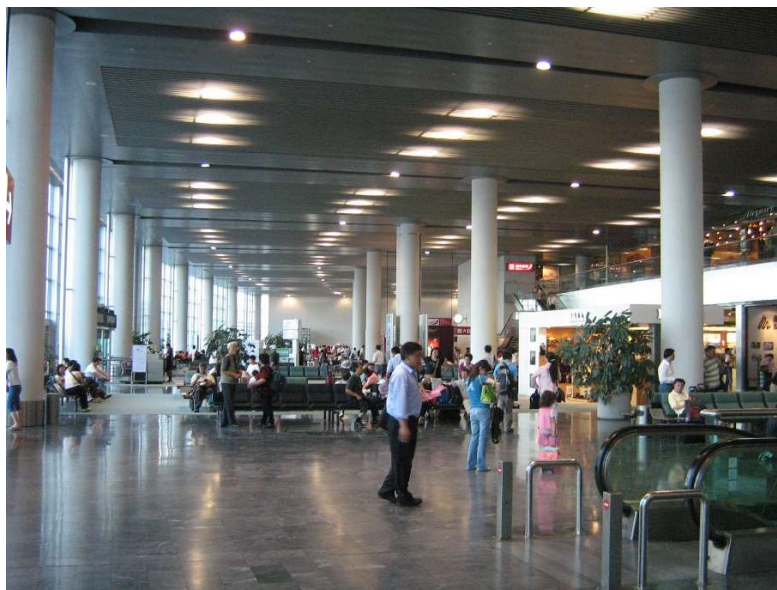


Figura 2: hall partenze, aeroporto di Macao-Portogallo

Per il calcolo della capacità si sono utilizzati i seguenti parametri:

T (P/V)	Tempo di permanenza per Passeggeri/Visitatori (min)	P	V
		15	10
VR	Percentuale di visitatori per passeggero		0.3
SR	Percentuale di sedute		20%
SP(S/ST)	Spazio per persona (seduta (seated)/ in piedi (standing) (m2)	S	ST
		2.3	1.2

Tabella 4: Valori input per l'analisi statica, Hall Partenze – Scenario Pre-Covid

I valori di input riportati in tabella sono tutti suggeriti da IATA in ottica del LoS Optimum, eccetto che per la percentuale di visitatori per passeggero fissata a 0.3 da banca dati One works. È stato possibile valutare quest'ultima mediante la valutazione della ripartizione modale di alcuni aeroporti di medie dimensioni. La bassa percentuale di accompagnatori è giustificata dal fatto che tali aeroporti sono ben collegati mediante trasporto pubblico e/o offrono spesso convenienti tariffe di posteggio auto.

Il primo foglio di calcolo implementato in Excel permette di determinare le dimensioni minime che la sala partenze deve avere per rendere confortevole l'esperienza del viaggiatore.

Il procedimento prevede:

1. il calcolo del numero di persone presenti nella hall partenze, tramite l'espressione:

$$P = ((DPHP \times T_p)/60) + ((DPHP \times VR \times T_v)/60)$$

che si stima pari a 1560;

2. il calcolo della superficie necessaria, mediante la formula:

$$A = (P \times SR \times SP_S) + (P \times (1 - SR) \times SP_{ST})$$

che risulta pari a 2216 mq.

Area check-in

Il check-in è un controllo che viene effettuato sul viaggiatore e sul proprio bagaglio. Gli addetti aeroportuali verificano la veridicità del passaporto, o della carta d'identità, e la corrispondenza con il biglietto aereo. Se dal controllo non emerge alcuna difformità, al viaggiatore viene consegnata la carta d'imbarco, che consente di accedere all'area successiva dell'aeroporto dove vengono eseguiti i controlli personali. Il check-in, soprattutto nei momenti dell'anno in cui il traffico aereo è molto sostenuto, comporta una lunga attesa; in alternativa è possibile effettuare le operazioni di check-in online o utilizzare i chioschi check-in self-service presenti nella maggior parte degli aeroporti internazionali.

Nell'analisi domanda/capacità dell'area check-in si sono considerati separatamente le postazioni check-in self-service e i banchi check-in tradizionali. Inoltre, per un aeroporto di medie dimensioni, si è ipotizzato che il 5 % dei passeggeri utilizzi i chioschi self-service, il 55% i check-in tradizionali e il restante 40% faccia check-in online.

Infine, da banca dati One Works si è fissato un tempo di processamento pari a 100 secondi/pax per i self-service e 120 sec/pax per i check-in tradizionali.

Chioschi Check-in Self-service

Nella maggior parte degli aeroporti internazionali sono presenti chioschi check-in self-service che consentono di evitare le lunghe attese dei check-in tradizionali. Presso tali sportelli è possibile ritirare la propria carta di imbarco semplicemente inserendo informazioni sull'identità personale utilizzata per comprare il

biglietto, e il numero (codice) di prenotazione. Inoltre, se la postazione lo permette, si può scegliere anche il posto a sedere sull'aereo altrimenti il sistema automatico provvederà all'assegnazione di uno casuale.



Figura 3: chioschi check in self-service

I parametri necessari al calcolo del check-in self-service sono i seguenti:

PK	Fattore di picco 30 minuti (in % di PHP)	75%
SSR	Percentuale di passeggeri che utilizza il Self-Service	5%
PT	Tempo di elaborazione per passeggero (in secondi)	100
MQT	Tempo Massimo di attesa (in minuti)	2
SSa	Area occupata da un unico punto Self-Service (m2)	0.36
AA	Adegumento area per punto Self-Service	300%
SP	Spazio per persona (m2/pax)	1.5
CAF	Fattore area destinata ai movimenti	35%

Tabella 5: Valori input per l'analisi statica, Check- in Self-service – Scenario Pre-covid

Il picco dei passeggeri nei 30 minuti (PK) è fissato al 75 % da banca dati One works. È possibile constatare come negli aeroporti più grandi, con un numero maggiore di voli, il PK sia più basso rispetto ai piccoli aeroporti. In quest'ultimi, infatti, il numero di voli è inferiore e il traffico più concentrato. La percentuale di passeggeri che utilizza i chioschi self-service è del 5 %; si tratta di una percentuale ancora molto bassa, essendo dispositivi all'avanguardia presenti per ora solo negli aeroporti più grandi e tecnologici.

I restanti valori proposti nella tabella sono consigliati da IATA e riportati nelle schede descrittive dei sottosistemi funzionali.

Il procedimento riferito a tale sottosistema prevede quattro passaggi con i quali si calcola il numero approssimato di chioschi self-service e la dimensione dell'area necessaria a garantire livelli di confort adeguati al viaggiatore. (IATA, 2017c)

1. Calcolo del numero approssimato di punti self-service:

$$SSi = (DPHP \times PK \times SSR \times (PT/60)) / (30 + MQT)$$

Il risultato che si ottiene è di 11 chioschi self-service.

A questo valore, approssimato, viene attribuito un fattore di correzione "Cf" che tiene conto della variabilità degli arrivi dei passeggeri nel periodo di punta e del tempo di attesa per l'elaborazione. La tabella proposta da IATA è la seguente:

Fattore (Cf)	
MQT	Cf
[min]	
3	1.22
4	1.21
5	1.15
10	1.06
15	1.01
20	1
25	1
30	1

Tabella 6: fattore di correzione "Cf"

È possibile notare come con l'aumentare del tempo di attesa, il coefficiente Cf tende a 1 ovvero come il numero di postazioni necessarie non sia più suscettibile alla variabilità della domanda.

2. Correzione del numero dei punti self-service:

$$SS = SSi \times Cf$$

Il numero di chioschi risulta aumentato a 13 postazioni self-service.

3. Numero massimo di passeggeri in coda (QMax):

$$QMAX = Qf \times Peak\ 30$$

Il valore si ottiene moltiplicando la percentuale del flusso di traffico in partenza (DPHP), che arriva nei primi 30 minuti e che utilizza il check-in self-service, per il fattore “ Q_f ”, funzione del tempo massimo di attesa.

La IATA propone la seguente tabella per il fattore “ Q_f ”:

Fattore (Q_f)	
MQT	Q_f
[min]	
3	0.12
4	0.151
5	0.183
10	0.289
15	0.364
20	0.416
25	0.453
30	0.495

Tabella 7: Fattore di correzione “ Q_f ”

Ne segue che il numero stimato di passeggeri in coda nei 13 punti self-service risulta pari a 24.

4. Calcolo del fabbisogno della sala:

$$A = \frac{[(SS \times SSa \times AA) + (QMAX \times SP)] \times (1 + CAF)}{1}$$

da cui si ottiene che i 13 punti check-in self-service necessitano di 68 mq di area.

Banchi Check-in

Il check-in al banco è la procedura tradizionale nella quale il passeggero, dopo l'arrivo all'aeroporto, consegna i bagagli che non vuol portare con sé o che non sono permessi in cabina, e riceve una carta di imbarco che consente di salire a bordo. Tale procedura risulta essere la più lenta rispetto alle alternative del check-in online e check-in self-service.



Figura 4:chioschi check-in tradizionali

Per il calcolo del numero di postazioni e della superficie necessaria al check-in tradizionale, si utilizzano i seguenti parametri:

PK	Fattore di picco 30 minuti (in % di PHP)			75%
P(Y/J/f)	Proporzione di passeggeri Economy/Business/Prima Classe (% di PHP)	Y	J	f
		90%	5%	5%
CR	Percentuale di passeggeri che utilizza i Banchi Check-in tradizionali			55%
PT(Y/J/f)	Tempo di processamento passeggero ai banchi Check-in per: Economy/Business/Prima Classe (sec/pax)	Y	J	f
		120	120	120
MQT(Y/J/f)	Tempo massimo di attesa per passeggeri di classe: Economy/Business/Prima Classe (minuti)	Y	J	f
		20	5	3
CDd	Profondità dell'area del processo di check-in (m)			6.5
CDw	Larghezza di un Bancone Check-in (m)			2
W	Larghezza corridoio dietro al banco (m)			0
SP	Spazio per persona (m2)			1.5

Tabella 8: Valori input per l'analisi statica, banchi Check-in tradizionali – Scenario Pre-covid

Il picco dei passeggeri nei 30 minuti è fissato al 75 % da banca dati One works. Tale valore è presto giustificabile in quanto nel medio aeroporto il traffico è più distribuito nell'arco della giornata.

Per quanto riguarda la proporzione dei passeggeri si prevede che il 90% appartenga alla classe economy mentre il 5 % alla classe business e alla prima classe, tale dato è stato confrontato con la banca dati One-works.

I restanti valori proposti nella tabella sono consigliati da IATA e riportati nelle schede descrittive dei sottosistemi funzionali.

L'analisi prevede quattro passaggi:(IATA, 2017d)

1. Calcolo del numero approssimato di banchi per ogni categoria di passeggeri:

Per la classe economy:

$$CD_Y = (DPHP \times PK \times (1 - P_j - P_f) \times CR \times (PT_Y/60)) / (30 + MQT_Y)$$

Per la classe business:

$$CD_j = (DPHP \times PK \times P_j \times CR \times (PT_j/60)) / (30 + MQT_j)$$

Infine, per la prima classe:

$$CD_f = (DPHP \times PK \times P_f \times CR \times (PT_f/60)) / (30 + MQT_f)$$

Il numero di banchi necessari per ciascuna classe risulta rispettivamente di 78 banchi per la classe economy e di 7 banchi per business e prima classe. Per un totale di 92 banchi.

2. Correzione del numero di punti mediante il coefficiente Cf già visto nel paragrafo precedente:

$$CD = CD_{Y,j,f} * Cf$$

Il numero di banchi diventa pari a 95.

3. Numero massimo di passeggeri in coda:

$$QMAX = Qf \times Peak\ 30 - min$$

Mediante tale formula, si stima il numero di passeggeri, in funzione alla classe d'appartenenza, che si accoda davanti ai banchi check-in. Per la classe economy il numero di passeggeri che si prevede possano accodarsi nel picco di 30 minuti è pari a 804, per la business class 20 e per la first class 13.

4. Fabbisogno della sala:

$$A = (CD \times CDd \times CDw) + (QMAX \times SP) + (CD \times CDw \times W)$$

Da tale espressione si ottiene che per svolgere i servizi in modo ottimale, con spazi e tempi di attesa ammissibili la sala deve avere una dimensione di 2491 mq.

Baggage Drop off

Si tratta di un servizio offerto ai viaggiatori che posseggono un bagaglio da imbarcare (da mettere in stiva) e procedono al check-in online o self-service invece che al check-in tradizionale. Le postazioni, spesso ubicate nei pressi dei self-service check-in, consentono di effettuare la spedizione del bagaglio in maniera molto veloce: Posizionando il codice a barre della carta d'imbarco sullo scanner appaiono sullo schermo i dati della prenotazione. Se corretti si può procedere posizionando il bagaglio sul nastro e l'etichetta bagaglio adesiva verrà stampata automaticamente. Si applica l'etichetta al bagaglio e se ne conferma la consegna. (Lufthansa, 2021)



Figura 5: Baggage Drop-off

PK	Fattore di picco 30 minuti (in % di PHP)			75%
P(Y/J/f)	Proporzione di passeggeri Business/Prima Classe		J	f
	(% di PHP)		10%	0%
BPR	% di pax che Bypassano le strutture di consegna bagagli			92%
PT(Y/J/f)	Tempo di processamento passeggero per consegna bagagli per Economy/Business/Prima Classe (sec/pax)	Y	J	f
		60	60	0
MQT(Y/J/f)	Tempo massimo di attesa per passeggeri di classe Economy/Business/Prima Classe (minuti)	Y	J	f
		5	3	0
BDd	Lunghezza dell'area per consegna bagagli (m)			6.5
BDw	Larghezza posizione per rilascio bagaglio (m)			2
W	Larghezza dietro al banco			4
SP	Spazio per persona (m2)			1.5

Tabella 9: Valori input per l'analisi statica, Drop off – Scenario Pre-covid

Da banca dati One works si assume una percentuale di drop off dell'8 % e un tempo di processamento necessario di 60 sec, i restanti dati in tabella sono suggeriti da IATA nell'ottica di progettare in "optimum".

L'analisi prevede quattro passaggi:(IATA, 2017a)

1. Stima del numero di posizioni utili per la consegna dei bagagli, relative alle classi, economy e business, (per la prima classe è prevista una zona riservata):

$$BD_Y = (D_{PHP} \times PK \times (1 - P_J - P_f) \times (1 - BPR) \times (PT_Y/60)) / (30 + MQT_Y)$$

$$BD_J = (D_{PHP} \times PK \times P_J \times (1 - BPR) \times (PT_J/60)) / (30 + MQT_J)$$

Le postazioni necessarie per servire la classe economy sono 9 mentre per la business class ne occorrono 1, per un totale di 10 banchi.

2. Si adeguano quindi i risultati ottenuti alla variabilità, degli arrivi dei passeggeri nel periodo di punta e del tempo di attesa, con il fattore “ Cf ”, utilizzando la formula:

$$BD = BD_Y \times Cf + BD_j \times Cf + BD_f \times Cf$$

Si ottengono pertanto 12 postazioni totali utili a servire i viaggiatori di entrambe le classi.

3. Calcolo del numero massimo di viaggiatori che possono accodarsi nel periodo di picco, per le due classi:

$$QMAX = Qf \times Peak\ 30 - min$$

dall'espressione si ottiene il risultato di 52 passeggeri per l'economy class e 4 passeggeri per la business class.

4. Stima dello spazio utile alla struttura per la consegna dei bagagli, per operare ad un livello di servizio “*optimum*”, con la relazione:

$$A = (BD \times BDd \times BDw) + (QMAX \times SP) + (BD \times BDw \times W)$$

Il fabbisogno della sala è di 336 mq.

Area Controlli Sicurezza

Per quanto riguarda i controlli di sicurezza dei passeggeri in partenza (metal detector e apparato X-ray per il controllo dei bagagli a mano), si è considerato un tempo medio ad operazione di 15 sec/pax da banca dati One works Spa. Per stimare il fabbisogno relativo ai controlli di sicurezza sono stati utilizzati i seguenti parametri:

PK	Fattore di picco di 30 minuti (in % di PHP)	65%
CD	Numero di Banchi di Servizio aperti	108
PTCD	Tempo di processamento per assistenza presso i banchi (secondi)	120
BD	Numero di posizioni aperte per consegna bagagli	12
PTBD	Tempo di elaborazione consegna bagagli (secondi)	60
BR	Passeggeri che utilizzano le strutture per deposito bagagli (%)	8%
CR	Percentuale di passeggeri che utilizza il Banco Check-in (%)	55%
PTSEC	Tempo processamento (potenziale) controlli sicurezza per passeggero (sec)*	15
MQT	Tempo Massimo di attesa (in minuti)	10
SECd	Profondità di una corsia per controllo sicurezza (m)	14
SECw	Larghezza di una corsia per controllo sicurezza (m)	3
SP	Spazio per persona (m2)	1.2
W	Larghezza dell'uscita dietro la corsia (m)**	4

Tabella 10:Valori input per l'analisi statica, Area Controlli Sicurezza – Scenario Pre-covid

Per l'area controlli sicurezza è stato definito un fattore di picco del 65 %, più basso rispetto l'area check-in e drop off, in quanto tali due sottosistemi fungono da filtro e dunque l'arrivo dei passeggeri risulta meno concentrato. I dati dei

banchi check-in e drop off sono il risultato dei precedenti fogli di calcolo e i restanti parametri sono suggeriti da IATA.

1. Il primo step riguarda il calcolo della domanda, ossia il numero di passeggeri che si apprestano ad effettuare i controlli di sicurezza nel picco di 30 minuti ed include i passeggeri che provengono:

- dal banco check-in;
- da postazioni di consegna del bagaglio da stiva;
- dalla hall partenze, riferendosi ai passeggeri che hanno effettuato il check-in online o self-service.

Si evince dunque che tale sottosistema è legato ai precedenti, che si comportano da “filtro”; maggiore è il numero di desk check-in, più il flusso dei passeggeri “scorrerà velocemente” al successivo sistema di controllo sicurezza. Ne segue che saranno necessarie molte file per soddisfare la domanda di processamento. Se invece il numero di desk check-in è minore, i passeggeri resteranno “bloccati” in tale sottosistema e si presenteranno in maniera scaglionata al sistema security. L’espressione analitica utilizzata per il calcolo è la seguente:

$$PK_{30MIN} = (CD \times (60/PT_{CD}) \times 30) + (BD \times (60/PT_{BD}) \times 30) + (DPHP \times PK \times (1 - (CR + BR)))$$

Si ricava che il numero di passeggeri, che si stima possano arrivare ai controlli di sicurezza nel picco, sia 3231.

2. Gli utenti dovranno quindi essere suddivisi in file per rendere più agevoli e ordinate le operazioni di controllo.

Le formule utilizzate per il calcolo del numero approssimato di corsie, successivamente corretto con il fattore di correzione “*Cf*”, sono le seguenti:

$$SEC_i = (PK_{30MIN} \times (PT_{SEC}/60))/(30 + MQT)$$

3.
$$SEC = SEC_i \times Cf$$

Il numero di corsie necessarie per effettuare i controlli in maniera ordinata è 33.

4. Calcolo del numero massimo di passeggeri in coda per ogni fila:

Utilizzando il fattore “*Qf*”, funzione del tempo massimo di attesa per passeggero, non inferiore a 5 minuti, né superiore a 10 minuti, per avere un livello di servizio *Optimum*, si determina il numero massimo di passeggeri in coda, mediante l’espressione:

$$QMAX = Qf * Peak\ 30 - min$$

Si ottiene quindi un numero di viaggiatori che possono accodarsi pari a 31.

5. Calcolo del fabbisogno per lo screening di sicurezza mediante l’equazione:

$$A = (SEC \times SEC_d \times SEC_w) + (QMAX \times SP) + (SEC \times SEC_w \times W)$$

L’area comprendente le corsie per il controllo di sicurezza, per l’accodamento e per l’uscita, è pari a 1766 mq.

Analisi dinamica

Tramite l'analisi statica si è determinata la capacità landside effettiva e dimensionati i vari sottosistemi. Avendo come base tale analisi si è proceduto ad effettuare l'analisi dinamica con l'obiettivo di ottimizzare i risultati ottenuti dalla prima analisi. Il software utilizzato per eseguire l'analisi dinamica è "PTV Viswalk".

Progettazione del modello aeroportuale

Pianta del modello

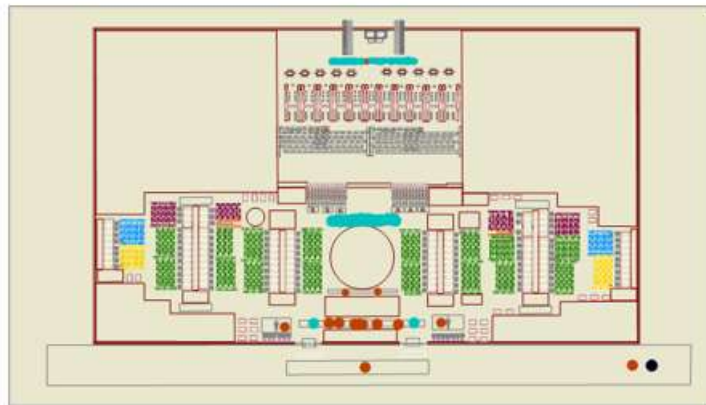
Il primo step è stato disegnare sul software il sistema aeroportuale riferito alla sola area partenze. Come per l'analisi statica si è fatto riferimento ad un aeroporto di medie dimensioni con un traffico medio annuo di 20 milioni di passeggeri.

L'aeroporto in pianta presenta le seguenti dimensioni

- Larghezza: 100 m
- Lunghezza 180 m
- Area tot: 18.000 mq

Con il software PTV-Viswalk la progettazione dell'infrastruttura si esegue disegnando Aree ed ostacoli.

Le aree rappresentano tutte le zone calpestabili. Gli ostacoli (in rosso nel modello di seguito) rappresentano invece le aree commerciali, i punti di informazione, le facilities.











-  **Hall partenze**
-  **Area check-in self-service**
-  **Area banchi check-in economy**
-  **Area banchi check-in business**
-  **Area banchi check-in first**
-  **Area drop-off economy**
-  **Area drop-off business**
-  **Area controlli sicurezza**

Figura 6: Scenario Pre-Covid: Pianta modello PTV Viswalk

Composizione del traffico di passeggeri

Come riportato nei precedenti paragrafi, per un flusso passeggeri annuo pari a circa 20 milioni, il valore di traffico nell'ora di punta risulta pari a 8.000 pax/ora. In tale lavoro di tesi si fa riferimento alla singola componente partenze, che rappresenta il 65% del picco totale, pari a 5200 pax/ora [DPHP].

Per simulare il caso più gravoso, come per l'analisi statica, il picco dei passeggeri nei 30 minuti è fissato al 75 % da banca dati One works.

Nel software sono state impostate due ore di simulazione:

nella prima ora entrano nel sistema esattamente 5200 passeggeri e in particolare:

- nel primo quarto d'ora entrerà il 12.5% dei passeggeri;
- nella mezz'ora successiva il 75%;
- nell'ultimo quarto d'ora il restante 12.5%

La seconda ora sarà necessaria per smaltire tutto il flusso di passeggeri.

Prima di procedere con l'imbarco, tutti i passeggeri dovranno passare l'area dei controlli di sicurezza, ma prima di arrivare a quest'area, non tutti eseguiranno le stesse operazioni.

Ne segue che nel software i passeggeri saranno divisi per classi tipo:

1. classe di passeggeri che esegue il check-in online
2. classe di passeggeri che esegue il self-check-in

3. classe di passeggeri che esegue il check-in online, ma che possedendo un bagaglio da imbarcare, dovrà effettuare l'operazione di drop off in aeroporto. Per i drop off distinguiamo due classi, economy e business.

4. classe di passeggeri che esegue il check-in ai banchi tradizionali in aeroporto. In base alla classe in cui si è acquistato il biglietto, il passeggero utilizzerà banchi check-in della classe economy, business o first.

5. classe di passeggeri che esegue il self-check-in o possedendo un bagaglio da imbarcare dovrà effettuare l'operazione di drop off in aeroporto.

Individuate le varie classi, è stata poi definita la composizione del traffico. Le percentuali per ciascuna classe sono le medesime considerate nell'analisi statica, le quali sono state fissate da banca dati "One Works".

Classi	Flusso relativo
online	0.35
self-check in	0.02
online + drop off	0.04
online + drop off bus	0.01
check in bus	0.0275
check in first	0.0275
check in econ	0.495
self + drop off	0.03

Tabella 11: Scenario Pre-Covid: Composizione del traffico

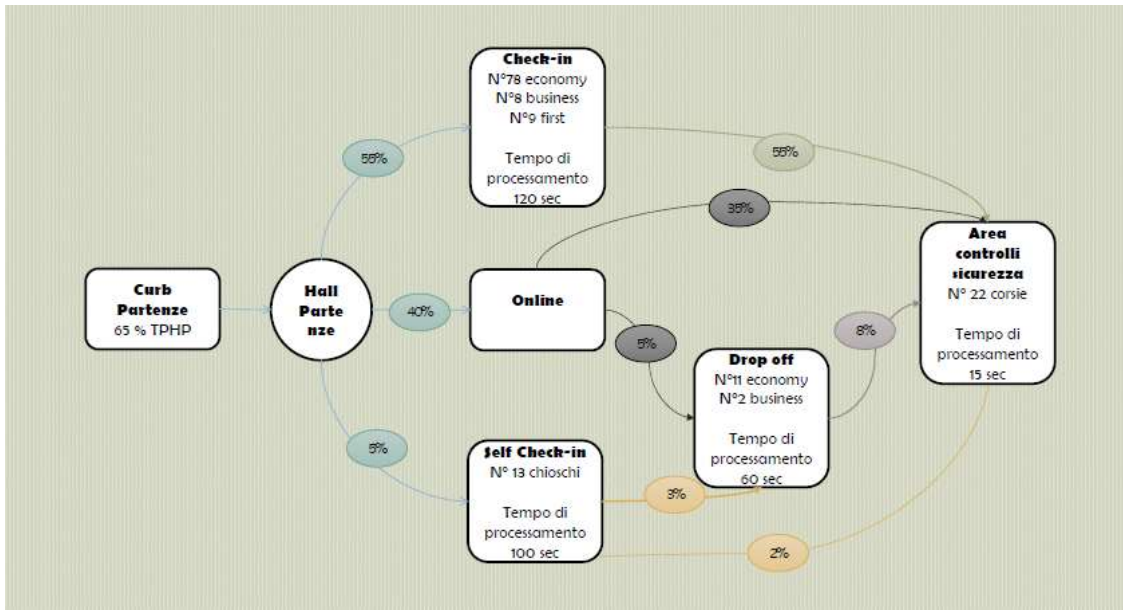


Figura 7: flusso passeggeri

Pedestrian routes

Dopo aver definito la composizione del traffico, è necessario impostare le “Static pedestrian routes” e le “Partial Pedestrian routes” per ciascuna classe. Le Static Pedestrian routes rappresentano il percorso generico del passeggero, con un’origine nel punto di generazione dei flussi ed una destinazione nel punto in cui terminano il percorso. Le partial route servono invece a definire le singole sotto-scelte di percorso.

Con tale comando è possibile definire percorsi prestabiliti per ciascuna classe tipo. Si riporta a titolo di esempio il percorso (“route”) della classe di passeggeri che effettua il check-in ai banchi tradizionali nella classe economy. Il percorso si compone dei seguenti step:

- Il passeggero può scegliere di entrare in aeroporto da una delle due porte presenti. (la route è definita impostando un punto di partenza - in rosso in figura – e un punto di destinazione – in celeste. I punti in blu rappresentano deviazioni del percorso, aree su cui soffermarsi prima di continuare il tragitto)

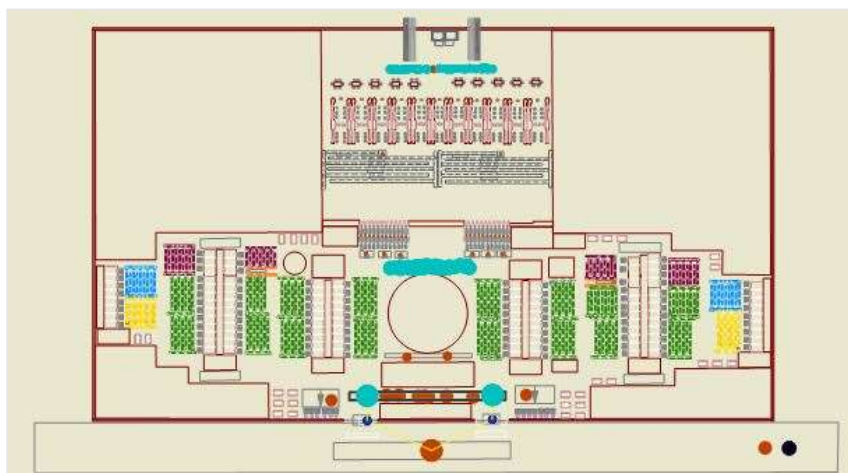


Figura 8:Route ingresso

Proseguirà il suo percorso effettuando la fila in uno degli accodamenti dei banchi check in economy. Nel modello, gli accodamenti in totale sono 16, ne corrispondono dunque 16 possibili traiettorie per passeggero. La traiettoria del singolo pedone è scelta in maniera stocastica dal programma. Nel caso in cui si avesse a disposizione uno schedato voli, si potrebbe ulteriormente rifinire il modello assegnando a ciascun passeggero una particolare zona check-in.

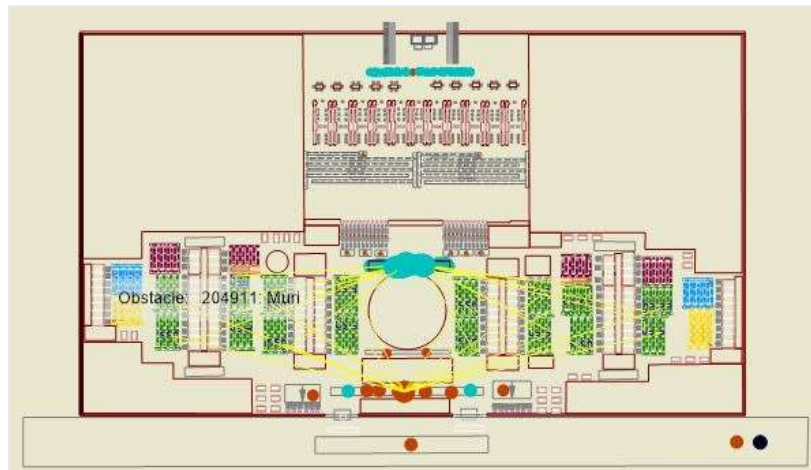


Figura 9:Route accodamenti check-in economy

Dopo aver effettuato la fila, verrà servito nel primo banco libero;

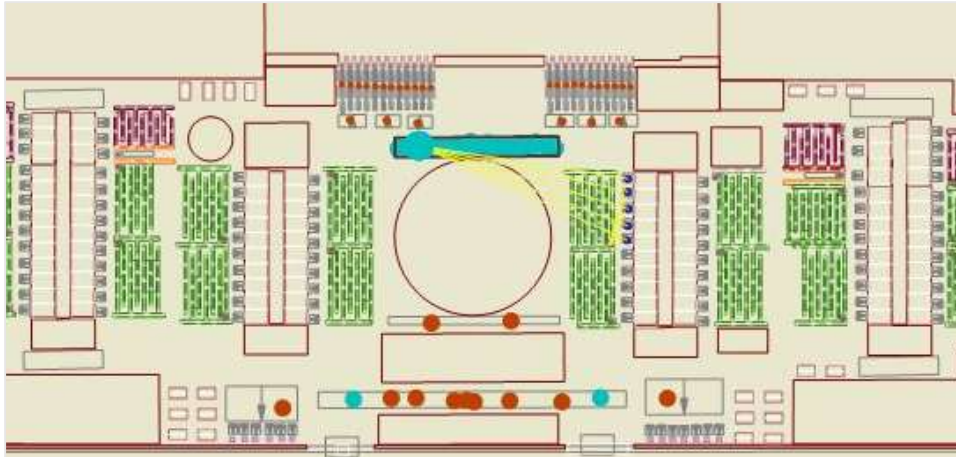


Figura 10: Route banchi check-in economy

Successivamente, per raggiungere la sala imbarchi, passerà per gli e-gates (controllo carta di imbarco) e l'area controllo sicurezza.

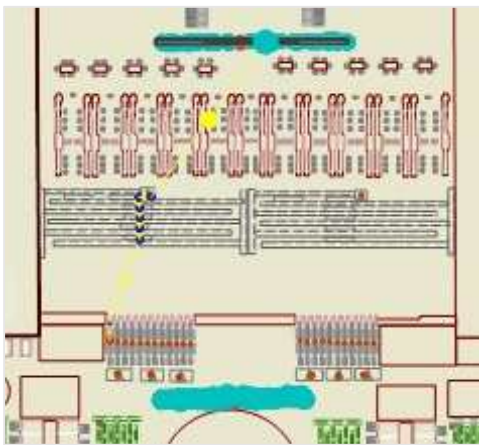


Figura 11: Route E-gates e accodamenti area controllo sicurezza

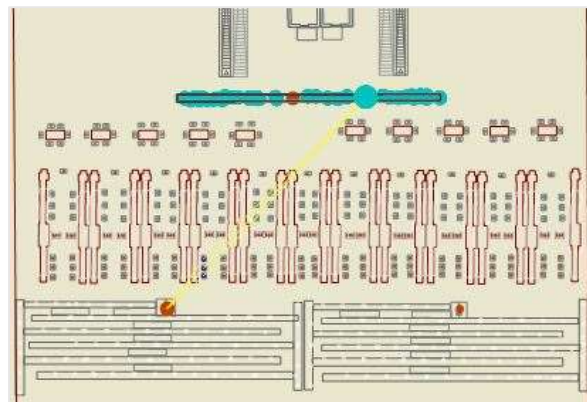


Figura 12: Route banchi security

Allo stesso modo sono state definite le altre routes per i restanti sottosistemi.

Simulazione

Dopo aver disegnato sul software PTV Viswalk il modello dell'aeroporto, sono state eseguite una serie di simulazioni.

Di seguito sono riportate delle immagini del modello realizzato, estratte durante una delle simulazioni.



Figura 12: Simulazione Scenario Pre-Covid

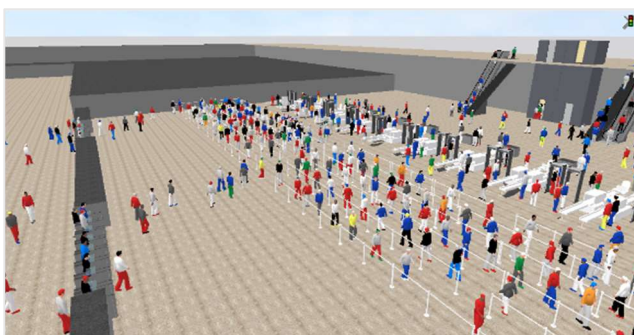


Figura 13: Focus sull'area security

Al termine della simulazione, il software PTV Viswalk restituisce in output molti parametri, tra i quali il tempo di attesa massimo di un passeggero in coda a un relativo sottosistema e la densità massima (pax/mq).

Tali valori, confrontati con i valori limite dei LoS proposti da IATA, permettono di individuare il livello di servizio in cui ricade ciascun sottosistema e di modellare il sistema nella maniera ottimale.

LoS Guidelines	SPACE GUIDELINES [sqm/PAX]			MAXIMUM WAITING TIME GUIDELINES Economy Class [minutes]			MAXIMUM WAITING TIME GUIDELINES Business Class / First Class / Fast Track [minutes]			
	Over-Design	Optimum	Sub-Optimum	Over-Design	Optimum	Sub-Optimum	Over-Design	Optimum	Sub-Optimum	
Public Departure Hall	> 2.3	2.0 - 2.3	< 2.0	n/a			n/a			
Check-In	Self-Service Kiosk (Boarding Pass / Bag Tagging)	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 1	1 - 2	> 2	< 1	1 - 2	> 2
	Bag Drop Desk (queue width 1.4 - 1.6m)	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 1	1 - 5	> 5	< 1	1 - 3	> 3
	Check-in Desk (queue width: 1.4 - 1.6m)	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 10	10 - 20	> 20	< 3	3 - 5	> 5
Security Control (queue width: 1.2m)	> 1.2	1.0 - 1.2	< 1.0	< 5	5 - 10	> 10	< 1	1 - 3	> 3	
Emigration Control (Outbound Passport Control) (queue width: 1.2m)	> 1.2	1.0 - 1.2	< 1.0	< 5	5 - 10	> 10	< 1	1 - 3	> 3	
Gate Holdrooms / Seating	> 1.7	1.5 - 1.7	< 1.5	n/a			n/a			
Departure Lounges	Standing	> 1.2	1.0 - 1.2	< 1.0	n/a			n/a		
Immigration Control (Inbound Passport Control) (queue width: 1.2m)	> 1.2	1.0 - 1.2	< 1.0	< 5	5 - 10	> 10	< 1	1 - 5	> 5	
Baggage Reclaim	Narrow Body Aircraft	> 1.7	1.5 - 1.7	< 1.5	< 0	0 / 15	> 15	< 0	0 / 15	> 15
	Wide Body Aircraft	> 1.7	1.5 - 1.7	< 1.5	< 0	0 / 25	> 25	< 0	0 / 25	> 25
Customs Control	> 1.8	1.3 - 1.8	< 1.3	< 1	1 - 5	> 5	< 1	1 - 5	> 5	
Public Arrival Hall	> 2.3	2.0 - 2.3	< 2.0	n/a			n/a			

Tabella 12: Linee guida IATA

Nella tabella sopra riportata sono sintetizzate le linee guida IATA. Al fine di attribuire una categoria LoS a un determinato sottosistema, IATA fornisce dei valori limite di spazio (mq/pax) e di tempo di attesa (minuti).

In particolare, in tale studio di tesi, la hall partenze è stata valutata considerando i valori limite di spazio mentre per i restanti sottosistemi l'analisi è stata eseguita considerando la variabile del tempo di attesa.

Individuazione del LoS dei sottosistemi

LoS Hall partenze

Per individuare il LoS della hall partenze, come spiegato nel precedente paragrafo, si è fatto un confronto tra i valori di spazio a disposizione per ciascun passeggero ricavati nel modello e i valori limite forniti da IATA.

Per ricavare tale parametro, nel Software si attiva l'output "Pedestrian Grid cells". Con tale comando l'area del modello disegnato viene suddivisa in tante piccole celle, ad ogni cella al termine della simulazione, viene assegnato un valore di densità massima ovvero il massimo numero di passeggeri che attraversano quell'area.

L'obiettivo è individuare lo spazio a disposizione di ciascun passeggero e paragonarlo con le linee guida IATA. A tale scopo si deve impostare la configurazione dello schema dei colori: ad ogni cella, in base al valore di densità che ne risulta, viene attribuito un colore in base alla categoria di LoS a cui appartiene.

Facendo riferimento alle linee guida IATA:

- se lo spazio a disposizione del singolo è maggiore di 2.3 mq, il livello di servizio associato è "Over-Design";
- se lo spazio è compreso tra 2 e 2.3 mq il sottosistema ricade nell'Optimum;
- se il singolo passeggero ha a disposizione uno spazio minore di 2 mq, allora il LoS da attribuire al sottosistema è "Sub-Optimum".

Per valutare dunque lo spazio a disposizione del singolo, l'unità di misura considerata da IATA è mq/passeggero, il Software PTV Viswalk invece fornisce

come valore output la densità in termini di passeggero al mq. Per confrontare i due valori è necessario riportarli alla stessa unità di misura (si sono calcolati i reciproci dei valori sopra riportati), di conseguenza lo schema colori è stato impostato come segue:

- Se la densità è compresa tra 0 e 0.43 pax/mq, il LoS corrispondente è “Over-design” e il colore attribuito alla cella è l’arancio;
- Il LoS Optimum corrisponde ad un range di densità compreso tra 0.43 e 0.5 e al colore Verde;
- Una densità maggiore di 0.5 coincide con un livello di servizio “Sub-optimum” e il colore Giallo.

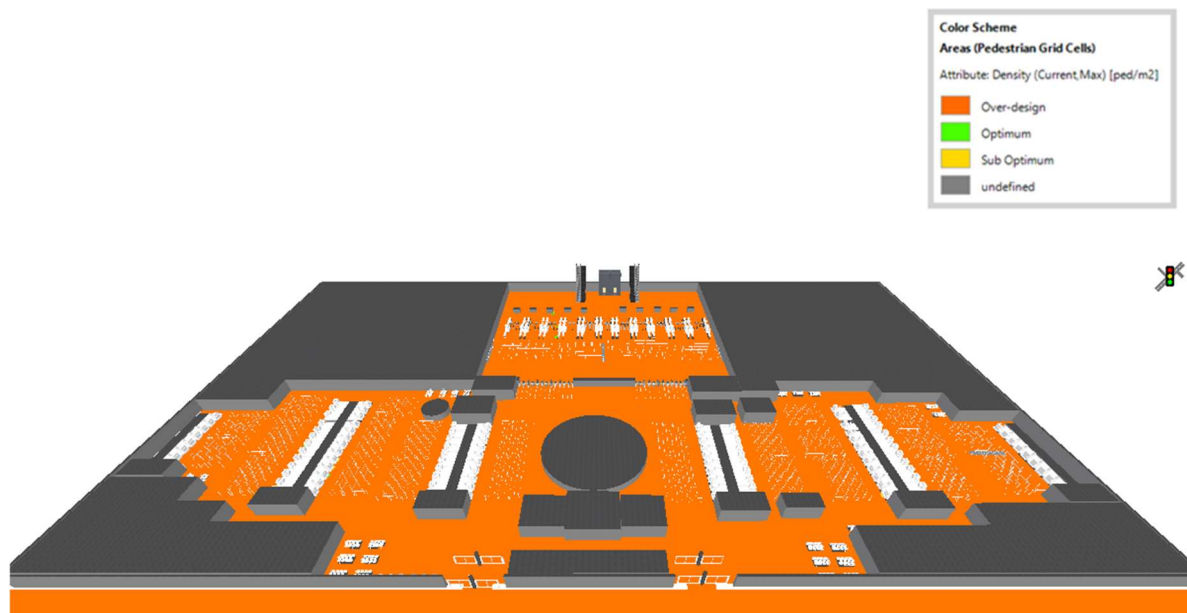


Figura 11: LoS Hall Partenze, Analisi dinamica

Facendo esclusivamente riferimento all’area della Hall partenze notiamo come tale sottosistema risulti appartenente al LoS “Over-design”.

Tale risultato rappresenta una discrepanza con l’esito dell’analisi statica con la quale si sono determinate le dimensioni minime che la sala partenze deve avere per rendere confortevole l’esperienza del viaggiatore e dunque appartenere ad

un LoS Optimum. A parità di area della Hall partenze l'analisi dinamica definisce tale sistema sovrastimato. Il risultato è giustificabile considerando che in tale analisi non si simula la presenza di eventuali accompagnatori tenuti invece presenti nella precedente analisi. Di conseguenza, essendo presenti nel modello esclusivamente i viaggiatori, resta a disposizione di questi ultimi un'area maggiore.

Si nota inoltre che il software produce i risultati su tutta l'area comprendendo anche i restanti sottosistemi. In tal caso però il parametro più vincolante e a cui far riferimento è il tempo di attesa, di conseguenza, i risultati ottenuti per quest'ultimi non sono significativi. La procedura utilizzata per la valutazione dei sottosistemi è riportata di seguito.

LoS dei sottosistemi

Per valutare il LoS dei singoli sottosistemi si è fatto riferimento al tempo massimo di attesa registrato durante la simulazione.

Nella progettazione del modello, ad ogni sottosistema è stata associata una sezione di dimensione coincidente con lo spazio di accodamento. Al termine delle simulazioni, per ogni sezione, il software restituisce come attributo il tempo di permanenza totale massimo. Paragonando tale risultato con i valori limite forniti dalle linee guida IATA è possibile determinare la categoria LoS in cui ricade ciascun sottosistema.

Ogni sottosistema, come si evince dalla tabella riportata nei precedenti paragrafi, presenta un range di valori per il tempo massimo di attesa entro il quale il sottosistema ricade nella categoria "optimum". Se il massimo tempo di attesa è inferiore rispetto al valore minimo del range allora il sottosistema è sovrastimato (Over-design), se invece il tempo di attesa è superiore al massimo valore, il sottosistema ricade in Sub-optimum.

Ad esempio, se si fa riferimento al sottosistema "banchi Check-in classe economy", secondo le linee guida IATA il tempo massimo di attesa per un passeggero deve essere compreso tra 10 e i 20 minuti. In tal caso, il sottosistema appartiene alla categoria Optimum; se il tempo massimo di attesa è minore di 10 minuti, il componente è in over design, se è maggiore di 20 minuti, il tempo di attesa è eccessivo e di conseguenza il sottosistema appartiene alla categoria "Sub-ottimo".

La prima simulazione è stata effettuata ponendo nel modello il numero di facilities ottenuto dall'analisi statica.

L'analisi dinamica ha messo in luce come la maggior parte dei sottosistemi, modellati con la prima analisi, fossero sovrastimati.

	Linee guida per il T max di attesa (min)			LoS Optimum IATA		
	minuti di attesa medi	min	max	Over-design	ottimo	Sub ottimo
check in bus	3.80	3	5		Optimum	
check in first	1.32	1	3		Optimum	
check in eco	15.83	10	20		Optimum	
drop off eco	1.58	1	5		Optimum	
drop off bus	0.80	1	3	Over-design		
self	0.70	1	2	Over-design		
security	4.70	5	10	Over-design		

Tabella 13: Simulazione 1: Risultati analisi dinamica, Scenario Pre-Covid

Sono stati di conseguenza simulati una serie di altri scenari facendo variare il numero di facilities con l'obiettivo di raggiungere per ciascun sottosistema il LoS Optimum.

	N° Facilities (Statica)	Riduzione	N° Facilities (dinamica)
check in bus	8	0	8
check in first	9	2	7
check in eco	78	5	73
drop off eco	11	3	8
drop off bus	2	1	1
self	13	1	12
security	22	4	18

Tabella 14: Ottimizzazione dei risultati tramite l'analisi dinamica

Il risultato ultimo, ottenuto inserendo nel sistema il numero di facilities riportato in tabella è il seguente:

	Linee guida per il T max di attesa (min)			LoS Optimum IATA		
	minuti di attesa medi	min	max	Over-design	ottimo	Sub ottimo
check in bus	3.81	3	5		Optimum	
check in first	2.73	1	3		Optimum	
check in eco	19.18	10	20		Optimum	
drop off eco	2.38	1	5		Optimum	
drop off bus	0.72	1	3	Over-design		
self	1.09	1	2		Optimum	
security	5.67	5	10		Optimum	

Tabella 15: Simulazione 1: Ottimizzazione dei risultati tramite l'analisi dinamica, Scenario Pre-Covid

Si nota che il sottosistema "Drop off business" permane in Over-design, infatti, il numero di passeggeri che utilizza tale servizio è molto basso. Ciò nonostante, essendo presente un unico banco e dovendo mantenere il servizio attivo, si considera pertanto come valore ottimale.

Confronto dei risultati

Nei precedenti paragrafi sono stati illustrati i risultati dell'analisi statica e dinamica per uno scenario di normale esercizio. Si riportano nella tabella riassuntiva di seguito:

		Analisi statica	Analisi dinamica
N° di facilities - LoS Optimum	check in bus	8	8
	check in first	9	7
	check in eco	78	73
	drop off eco	11	8
	drop off bus	2	1
	self	13	12
	security	22	18
LoS	Hall Partenze	Optimum	Over-design

Tabella 16: Confronto dei risultati ottenuti dalle due analisi

Nel confronto tra le due analisi è possibile notare come le discordanze maggiormente significative riguardano:

- la hall partenze;
- l'area security.

La **Hall partenze** è stata dimensionata tramite l'analisi statica con l'obiettivo di raggiungere il LoS Optimum. Dalla simulazione effettuata con il software PTV-Viswalk il sottosistema risulta invece appartenente al LoS "Over-design". A parità di area della Hall partenze l'analisi dinamica definisce tale sistema sovrastimato. Il risultato è giustificabile considerando che nell'analisi dinamica,

a differenza dell'analisi statica, non è stata simulata la presenza di eventuali accompagnatori.

L'inserimento di tale parametro nel software PTV Viswalk comporterebbe la definizione di traiettorie specifiche per i visitatori, i quali dovrebbero accompagnare parte dei passeggeri nei loro movimenti senza effettuare però le operazioni di imbarco. Ne seguirebbe la creazione di un modello molto più complesso la cui costruzione e simulazione richiederebbe tempi di analisi più lunghi e non in linea con quelli a disposizione. Per tale motivo la scelta di non inserire nell'analisi dinamica tale dato ed includere esclusivamente la percentuale di passeggeri attivi.

Le considerazioni relative l'**area della security** riguardano invece il numero di postazioni in approccio alla macchina e il tempo di processamento. Il numero di postazioni non è un parametro presente nell'analisi statica, dove compare come unico dato la lunghezza totale della corsia per il controllo sicurezza. Il numero di postazioni inserito nel modello fornisce indicazioni sul numero di passeggeri che possono essere processati nel medesimo tempo. La seconda discrepanza tra le due metodologie di analisi riguarda il tempo di processamento, che nell'analisi statica indica l'efficienza della macchina mentre nell'analisi dinamica viene dettagliato in tutti i vari step, dallo "svestimento" del passeggero, al passaggio sotto il metal detector, al "rivestimento" del passeggero.

Scenario 2: emergenza Covid

La seconda fase del lavoro ha riguardato il confronto tra l'analisi statica e l'analisi dinamica in uno scenario Covid, in cui la situazione di normale esercizio è stata turbata da un'emergenza in atto. In particolare, con la pandemia, è stato necessario introdurre il vincolo del distanziamento sociale al fine di garantire la sicurezza del singolo e della società.

In tale situazione di emergenza, per poter debellare il virus, sono stati limitati in primis tutti gli spostamenti non necessari. Questo si è tradotto in una riduzione dei passeggeri rispetto al 2019 di circa il 70 %. (EUROCONTROL, 2020)

Si prevede che in un futuro prossimo pur potendo riiniziare a spostarci e a viaggiare sarà necessario rispettare comunque il distanziamento sociale ed effettuare controlli sanitari.

In quest'ottica, tale lavoro di tesi, si propone di individuare la capacità massima che un aeroporto tipo di medie dimensioni è in grado di soddisfare, nel rispetto delle misure Covid e senza prevedere alcuna modifica strutturale al sistema.

Al fine di valutare la capacità massima sostenibile da un aeroporto di medie dimensioni in condizioni straordinarie (nel caso specifico, si fa riferimento alla pandemia di Covid-19), viene proposto, come nello scenario precedente, un confronto tra l'analisi statica e l'analisi dinamica.

Analisi statica

Nello scenario "Covid", come nel precedente scenario "Pre-Covid", è stata dapprima svolta l'analisi statica seguendo le linee guida dettate da IATA. In particolare, per simulare la situazione pandemica, è stato introdotto nell'analisi il vincolo del distanziamento sociale, che prevede per ciascun passeggero uno spazio di circa 2 mq.

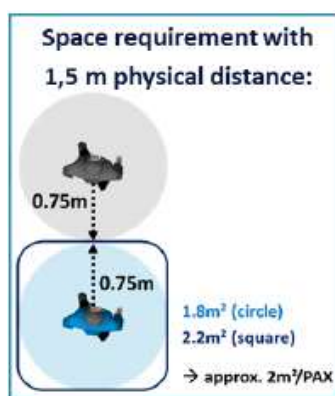


Figura 12: spazio necessario con 1.5 m di distanza fisica, fonte: Eurocontrol

È risultato subito chiaro come il problema da affrontare fosse il seguente: a parità di aree destinate a ciascun sottosistema il numero di passeggeri che vi può accedere è inferiore.

L'analisi è stata così articolata:

Il primo step è stato implementare in Excel le formule proposte da IATA per il calcolo della capacità introducendo il vincolo del distanziamento sociale.

Il secondo step consiste nell'individuare il massimo numero di passeggeri che il sistema aeroportuale, a parità di aree destinate a ciascun sottosistema, è in grado di processare.

Per poter osservare le norme igieniche e il distanziamento sociale mantenendo la struttura invariata, l'aeroporto dovrà subire una riduzione della capacità. Tale studio si propone di individuare la capacità massima potenziale dell'aeroporto nel rispetto delle misure Covid.

Hall Partenze

Per il calcolo della capacità della Hall Partenze sono stati utilizzati i seguenti parametri:

T (P/V)	Tempo di permanenza per Passeggeri/Visitatori (min)	P	V
		15	10
VR	Percentuale di visitatori per passeggero		0.3
SR	Percentuale di sedute		10%
SP(S/ST)	Spazio per persona (seduta (seated)/ in piedi (standing) (m2))	S	ST
		2.3	2

Tabella 17: Valori input per l'analisi statica, Hall Partenze – Scenario Covid

Rispetto allo scenario Pre-covid è stata dimezzata la percentuale di sedute (per poter garantire la sicurezza del singolo è previsto di poter utilizzare le sedute esclusivamente lasciando un posto libero tra due occupati) e aumentato lo spazio necessario per persona in piedi nel rispetto del vincolo del distanziamento sociale.

Attraverso i medesimi calcoli implementati in Excel e spiegati nel capitolo precedente si è potuto determinare le dimensioni minime che la sala partenze deve avere per rendere confortevole l'esperienza del viaggiatore e il numero massimo di persone che essa può contenere.

- N° max di persone: 1560
- Area (mq): 3167

Area check-in

Chioschi Check-in Self-service

I dati input utilizzati sono i seguenti:

PK	Fattore di picco 30 minuti (in % di PHP)	75%
SSR	Percentuale di passeggeri che utilizza il Self-Service	5%
PT	Tempo di elaborazione per passeggero (in secondi)	100
MQT	Tempo Massimo di attesa (in minuti)	3
SSa	Area occupata da un unico punto Self-Service (m2)	0.36
AA	Adeguamento area per punto Self-Service	300%
SP	Spazio per persona (m2/pax)	2
CAF	Fattore area destinata ai movimenti	35%

Tabella 18: Valori input per l'analisi statica, Check-in Self-service – Scenario Covid

Rispetto alla precedente situazione Pre-covid, tutti i valori sono rimasti invariati eccetto che lo spazio per persona, che è stato aumentato a 2 mq per assicurare il corretto distanziamento sociale.

I dati output, ricavati con il medesimo procedimento esposto nel precedente capitolo, sono:

- Numero di chioschi Self-service (SS): 13
- Area (mq): 84

Banchi Check-in

Per il calcolo dei banchi check-in sono stati utilizzati i seguenti parametri:

PK	Fattore di picco 30 minuti (in % di PHP)			75%
P(Y/J/f)	Proporzione di passeggeri Business/Prima Classe	Y	J	f
	(% di PHP)	90%	5%	5%
CR	Percentuale di passeggeri che utilizza i Banchi Check-in tradizionali			55%
PT(Y/J/f)	Tempo di processamento passeggero ai banchi Check-in per: Economy/Business/Prima Classe (sec/pax)	Y	J	f
		120	120	120
MQT(Y/J/f)	Tempo massimo di attesa per passeggeri di classe: Economy/Business/Prima Classe (minuti)	Y	J	f
		20	5	3
CDd	Profondità dell'area del processo di check-in (m)			6.5
CDw	Larghezza di un Bancone Check-in (m)			2
W	Larghezza corridoio dietro al banco (m)			4
SP	Spazio per persona (m ²)			2

Tabella 19: Valori input per l'analisi statica, Banchi Check-in tradizionali – Scenario Covid

Nel confronto con lo scenario precedente risulta aumentato lo spazio per persona.

Utilizzando i passaggi proposti da IATA (dettagliati nel precedente capitolo) si ottiene:

- N° di banchi tradizionali classe economy: 78
- N° di banchi tradizionali classe business: 8
- N° di banchi tradizionali prima classe: 8
- Area necessaria: 3627 mq

Baggage Drop off

I dati input utilizzati, riportati nella seguente tabella, sono i medesimi del precedente scenario eccetto che per l'aumento dello spazio persona nel rispetto del distanziamento sociale:

PK	Fattore di picco 30 minuti (in % di PHP)			75%
P(J/f)	Proporzione di passeggeri Business/Prima Classe	Y	J	f
	(% di PHP)	90%	10%	0%
BPR	Rapporto tra passeggeri che utilizzano check-in trad. e by pass le strutture di consegna bagagli			92%
PT(Y/J/f)	Tempo di processamento passeggero per consegna bagagli per Economy/Business/Prima Classe (sec/pax)	Y	J	f
		60	60	0
MQT(Y/J/f)	Tempo massimo di attesa per passeggeri di classe Economy/Business/Prima Classe (minuti)	Y	J	f
		5	3	0
BDd	Lunghezza dell'area per consegna bagagli inclusa distanza di cortesia tra scrivanie e coda (m)		min	max
			2.5	6.5
BDw	Larghezza posizione per rilascio bagaglio (m)			2
W	Larghezza dietro al banco			4
SP	Spazio per persona (m2)			2

Tabella 20: Valori input per l'analisi statica, Drop off – Scenario Covid

I dati in output ricavati dalle formule IATA sono i seguenti:

- N° di banchi tradizionali classe economy: 9
- N° di banchi tradizionali classe business: 2
- N° di banchi tradizionali prima classe: 0
- Area necessaria: 343 mq

Area Controlli Sicurezza

I parametri utilizzati per il calcolo statico della capacità sono i seguenti:

PK	Fattore di picco di 30 minuti (in % di PHP)	65%
CD	Numero di Banchi di Servizio aperti	106
PTCD	Tempo di processamento per assistenza presso i banchi (secondi)	120
BD	Numero di posizioni aperte per consegna bagagli	11
PTBD	Tempo di elaborazione consegna bagagli (secondi)	60
BR	Passeggeri che utilizzano le strutture per deposito bagagli (%)	8%
CR	Percentuale di passeggeri che utilizza il Banco Check-in (%)	55%
PTSEC	Tempo processamento (potenziale) controlli sicurezza per passeggero (sec)*	15
MQT	Tempo Massimo di attesa (in minuti)	10
SECd	Profondità di una corsia per controllo sicurezza (m)	14
SECw	Larghezza di una corsia per controllo sicurezza (m)	3
SP	Spazio per persona (m ²)	2
W	Larghezza dell'uscita dietro la corsia (m)	4

Tabella 21: Valori input per l'analisi statica, Area controlli sicurezza – Scenario Covid

Per l'area controlli sicurezza è stato definito un fattore di picco del 65 %, più basso rispetto l'area check-in. Quest'ultimo si comporta infatti come un filtro, facendo sì che i passeggeri arrivino all'area controlli maggiormente scaglionati. I dati dei banchi check-in sono il risultato dei precedenti fogli di calcolo e i restanti parametri sono suggeriti da IATA.

Rispetto ai dati di input del precedente scenario è stato aumentato lo spazio per persona.

Risultano quindi:

- N° di banchi necessari: 22
- Area necessaria: 1278 mq

Introduzione dei vincoli Covid-19

Tramite l'analisi statica svolta per lo scenario Pre-Covid (scenario di simulazione di una condizione di normale esercizio) è stato effettuato il dimensionamento della struttura aeroportuale. In particolare, seguendo le linee guida IATA, sono state calcolate le aree idonee a ciascun sottosistema e il numero di facilities necessarie a garantire ai singoli passeggeri un servizio efficiente ed efficace.

Per analizzare il layout del terminal aeroportuale nel quadro dell'attuale pandemia, sono stati introdotti alcuni vincoli:

1. L'obbligo di garantire uno spazio di almeno 2 mq per passeggero nella hall partenze.
2. Il vincolo del distanziamento sociale di 1 metro negli accodamenti.
3. Ove presenti delle sedute, i posti disponibili ai passeggeri sono stati dimezzati in modo da assicurare uno spazio libero tra due posti occupati e dunque la corretta distanza interpersonale.

Tali vincoli comportano un allungamento dei tempi di attesa e la necessità di avere a disposizione delle aree più grandi a servizio dei passeggeri.

Studiando i risultati ottenuti nello scenario Covid per ciascun sottosistema, si evince che le aree necessarie a garantire il corretto distanziamento sociale superano l'estensione delle aree previste in tempi Pre-covid (in rosso nella tabella di seguito).

		<i>Caso 0 di riferimento</i>	<i>Caso 1: misure Covid con traffico invariato rispetto al 2019</i>
		<i>normale esercizio</i>	
Hall partenze	N° pax A (mq)	1560 2215.2	1560 3167
Check-in self	N° self A (mq)	13 68	13 84
Check-in tradiz.	N° banchi tradiz. A (mq)	93 3209	93 3627
Baggage drop	N° banchi bagagli A (mq)	11 315	11 343
Area security	N° corsie di secur. A (mq)	22 1242	22 1278

Tabella 22: Confronto tra gli scenari Pre-covid e Covid con traffico invariato

Nella tabella, il caso 0 di riferimento corrisponde con la situazione di normale esercizio (i risultati presenti in tabella sono ottenuti mediante i procedimenti illustrati nel precedente capitolo) mentre il caso 1 rappresenta uno scenario in cui il traffico passeggeri è il medesimo della situazione Pre-Covid con l'introduzione delle restrizioni dovute al Covid-19.

Come riportato da ACI, in Italia, il calo dei passeggeri nel 2020 rispetto al 2019 è stato pari a circa il 70% (Airport Council International, 2020). Essendo il traffico fortemente ridotto, il rispetto delle misure Covid è facilmente garantito. Si illustra nella seguente tabella la situazione aeroportuale odierna:

		<i>Caso 0 di riferimento normale esercizio</i>	<i>Caso 2: misure Covid con il 30% del traffico Pre- Covid</i>
Hall partenze	N° pax	1560	468
	A (mq)	2215.2	951
Check-in self	N° self	13	4
	A (mq)	68	28
Check-in tradiz.	N° banchi tradiz.	93	28
	A (mq)	3209	1090
Baggage drop	N° banchi bagagli	11	4
	A (mq)	315	120
Area security	N° corsie di secur.	22	7
	A (mq)	1242	462

Tabella 23: Confronto tra gli scenari Pre-covid e Covid - traffico pari al 30% del traffico Pre-covid

In tabella, il caso 2 rappresenta lo scenario aeroportuale dell'anno 2020, dove si è registrato un calo medio del traffico passeggeri del 70 % circa. A seguito di tale rilevante riduzione del traffico, le misure Covid introdotte, sono ampiamente rispettate e non comportano alcuna modifica necessaria alla struttura aeroportuale. Si nota anzi, come a seguito del calo dei passeggeri, alcune delle facilities presenti possano essere momentaneamente chiuse.

Attraverso l'implementazione di calcoli su fogli Excel è stato interessante identificare la soglia limite oltre la quale, per poter aumentare la capacità aeroportuale e allo stesso tempo rispettare le norme Covid, sarebbe necessario introdurre delle modifiche al layout del terminal aeroportuale.

Il calcolo è stato effettuato facendo variare la percentuale del traffico passeggeri rispetto alla condizione di normale esercizio. Per ciascun caso sono state

confrontate le dimensioni delle aree e il numero di facilities in modo da risultare minori o uguali ai valori di riferimento.

È risultato che, senza effettuare alcuna modifica, un aeroporto di medie dimensioni è in grado di soddisfare, nel rispetto delle misure Covid, una domanda di traffico pari a circa il 65 % del traffico pre-covid.

		<i>Caso 0 di riferimento normale esercizio</i>	<i>Caso 3: misure Covid con il 65% del traffico Pre- Covid</i>
Hall partenze	N° pax	1560	1014
	A (mq)	2215.2	2059
Check-in self	N° self	13	8
	A (mq)	68	55
Check-in tradiz.	N° banchi tradiz.	93	60
	A (mq)	3209	2350
Baggage drop	N° banchi bagagli	11	7
	A (mq)	315	221
Area security	N° corsie di sicur.	22	14
	A (mq)	1242	848

Tabella 24: Confronto tra gli scenari Pre-covid e Covid – traffico pari al 65% del traffico Pre-covid

Si osserva che, il sottosistema più vincolante è la Hall Partenze dove è necessario garantire uno spazio di 2 mq per ciascun passeggero. Studiando le formule proposte da IATA, si è notato che l'estensione della Hall Partenze dipendesse anche dalla percentuale di accompagnatori, la quale nello scenario Pre-Covid era stata ipotizzata, da banca dati "One-Works", pari al 30 % dei passeggeri.

Nello scenario Covid, la questione diventa più complessa. In molte regioni non è permesso lo spostamento tra comuni, se non per motivi di prima necessità, e tra

questi non rientra l'accompagnamento di amici e/o parenti in aeroporto. Le uniche eccezioni riguardano minori ed accompagnatori di passeggeri a ridotta mobilità.(Governo Italiano Presidenza del consiglio dei ministri, 2021).

In un futuro prossimo si prevede che le limitazioni riguardo gli spostamenti vengano alleggerite. Per poter garantire però la massima capacità, nel rispetto delle misure Covid è stata valutata un'ulteriore opzione che riguarda il divieto per gli accompagnatori di entrare in aeroporto (con delle eccezioni).

Tale provvedimento è al momento in vigore in alcune infrastrutture:

- nell'aeroporto di Bergamo, per esempio, è stato impedito l'accesso al terminal da parte degli accompagnatori dei passeggeri, sia in partenza, sia in arrivo e sono state create aree attrezzate per l'attesa all'esterno del Terminal. Tale divieto allo stato attuale sussiste solo nel momento in cui si verificano situazioni di assembramento(Airport Milan Bergamo, 2021). Questa clausola è possibile dati i bassi flussi che interessano al momento la struttura. Nel caso di una buona ripresa del traffico, è corretto ipotizzare che il divieto divenga permanente.

Il divieto prevede come uniche eccezioni l'accesso degli accompagnatori di minori e di passeggeri a ridotta mobilità. Secondo il bilancio del servizio Sala Amica redatto da SACBO, società di gestione dell'Aeroporto di Milano Bergamo, nel terzo aeroporto italiano per movimenti passeggeri, uno ogni 115 (0.086%) tra coloro che partono necessita di assistenza. (Airport Milan Bergamo, 2020)

- Nell'aeroporto di Venezia gli accompagnatori non sono ammessi all'interno del terminal: può entrare solo chi ha un biglietto aereo valido per il giorno stesso della partenza. Le uniche eccezioni per l'ingresso degli accompagnatori

riguardano minori ed accompagnatori di passeggeri che hanno prenotato il viaggio come Passeggero a Ridotta Mobilità (PRM).(Venezia Airport, 2021)

A seguito di tali considerazioni, con lo scopo di valutare la massima capacità potenziale di un aeroporto tipo si è ipotizzato uno scenario in cui venga imposto il divieto per gli accompagnatori di entrare in aeroporto, fatta eccezione per gli accompagnatori di minori e persone deboli, che secondo il seminario sopracitato corrispondono al 1% dei passeggeri.

Risulta che nel rispetto delle misure Covid, la percentuale di passeggeri che un aeroporto è in grado di processare è pari all'80 %.

		<i>Caso 0 di riferimento normale esercizio</i>	<i>Caso 4: misure Covid con l'80% del traffico Pre- Covid</i>
Hall partenze	N° pax	1560	1040
	A (mq)	2215.2	2112
Check-in self	N° self	13	10
	A (mq)	68	66
Check-in tradiz.	N° banchi tradiz.	93	74
	A (mq)	3209	2894
Baggage drop	N° banchi bagagli	11	9
	A (mq)	315	279
Area security	N° corsie di sicur.	22	17
	A (mq)	1242	1010

Tabella 25: Confronto tra gli scenari Pre-covid e Covid – traffico pari al 80% del traffico Pre-covid

Analisi dinamica

Come per lo Scenario 1, dopo aver eseguito l'analisi statica, si è proceduto a verificare e ottimizzare i risultati tramite l'analisi dinamica. Il software utilizzato per eseguire le simulazioni è "PTV Viswalk".

Progettazione del modello aeroportuale

L'obiettivo dello studio è valutare la massima capacità dell'aeroporto, nel rispetto delle misure Covid e senza prevedere alcuna modifica strutturale del terminal. Pertanto, la pianta del modello utilizzata per lo scenario Covid corrisponde con la medesima dello scenario Pre-covid.

Rispetto al primo scenario, per simulare la situazione pandemica, sono state stabilite alcune restrizioni:

- Misurazione della temperatura all'entrata
- introduzione del vincolo del distanziamento sociale:
 - nelle aree di accodamento, è stato imposto 1 m di distanza tra i passeggeri, come da prescrizioni vigenti.
 - è stato ridotto il numero delle postazioni per ciascuna corsia dell'Area Security in modo da garantire uno spazio libero tra due posti occupati e dunque la corretta distanza interpersonale.

I restanti parametri da inserire nel modello quali: la composizione del traffico pedoni, le classi tipo, le traiettorie definite per ciascuna di esse, corrispondono nel nuovo scenario con quelli del primo al fine di valutare la massima capacità aeroportuale durante la pandemia di COVID-19.

Simulazioni

Dall'analisi statica è risultato che senza effettuare alcuna modifica al sistema, un aeroporto di medie dimensioni è in grado di soddisfare, nel rispetto delle misure Covid, una domanda pari a circa il 65 % del traffico pre-covid.

Il sottosistema più vincolante è la Hall Partenze dove è necessario garantire uno spazio di 2 mq per ciascun passeggero. Si nota però come nelle formule proposte da IATA, l'estensione della Hall Partenze dipende anche dalla percentuale di accompagnatori – fissata nello scenario Pre-Covid pari al 30 % dei passeggeri.

Nello scenario Covid, con l'obiettivo di raggiungere la massima capacità potenziale dell'aeroporto si è valutata la possibilità di imporre il divieto per gli accompagnatori di entrare nel terminal. L'unica eccezione riguarda l'ingresso degli accompagnatori di minori e/o di passeggeri che hanno prenotato il viaggio come Passeggero a Ridotta Mobilità (PRM) (VeneziaAirport, 2021) che secondo il seminario promosso da "Società per l'Aeroporto Civile di Bergamo-Orio al Serio" (SACBO) in collaborazione con ENAC, corrispondono a circa l'1% dei passeggeri. (Airport Milan Bergamo, 2020)

Ne segue che nel rispetto delle misure Covid, la percentuale di passeggeri che un aeroporto è in grado di processare è pari all'80 %.

Attraverso il software PTV Viswalk sono state simulate entrambe le condizioni limite individuate mediante l'analisi statica.

Simulazione con 65% della capacità

La prima simulazione dinamica è stata effettuata considerando il caso in cui non sia apportata alcuna modifica al sistema aeroportuale. Sotto tali condizioni il limite di capacità massima è del 65 %.

Ponendo nel modello il numero di facilities ottenuto dall'analisi statica si riscontrano problemi nell'area security: con il numero di corsie previste dall'analisi statica non è possibile processare il totale dei passeggeri nel rispetto dei vincoli Covid. Per garantire infatti il corretto distanziamento sociale è stato necessario ridurre il numero di postazioni per corsia da 3 a 2. Tale dato non è presente nelle formule dettate da IATA che risultano essere dunque poco performanti nel caso di una situazione straordinaria come quella in questione. Dall'analisi dinamica si ottiene che il numero di corsie necessarie a processare il totale dei passeggeri è 15, una corsia in più rispetto al numero previsto dall'analisi statica.

	Linee guida per il T max di attesa (min)			LoS Optimum IATA		
	minuti di attesa medi	min	max	Over-design	ottimo	Sub ottimo
check in bus	2.96	3	5	Over-design		
check in first	2.27	1	3		Optimum	
check in eco	15.57	10	20		Optimum	
drop off eco	3.77	1	5		Optimum	
drop off bus	0.72	1	3	Over-design		
self	1.63	1	2		Optimum	
security	6.45	5	10		Optimum	

Tabella 26: Simulazione 2 con 65% della capacità: Risultati analisi dinamica, Scenario Covid

Sono stati successivamente simulati una serie di altri scenari facendo variare il numero di facilities con l'obiettivo di raggiungere per ciascun sottosistema il LoS Optimum e ottimizzare il sistema.

	N° Facilities (Statica)	Variazioni	N° Facilities (dinamica)
check in bus	5	0	5
check in first	5	0	5
check in eco	50	-3	47
drop off eco	6	0	6
drop off bus	1	0	1
self	8	0	8
security	14	+1	15

Tabella 27: Simulazione con il 65% della capacità, confronto dei risultati delle due analisi

Si nota come le variazioni possibili siano minime: ciascun sottosistema è in realtà già al limite del range LoS Optimum. La chiusura anche di un solo banco nei sottosistemi check-in classe business/ first o drop off o self check-in comporterebbe il passaggio al range di LoS Sub-Optimum (spazi affollati e scomodi e tempi di attesa inaccettabili).

La simulazione effettuata con il numero ultimo di Facilities proposto in tabella 27 fornisce il seguente risultato:

**Linee guida per il T
max di attesa (min)**

LoS Optimum IATA

	minuti di attesa medi	min	max	Over-design	ottimo	Sub ottimo
check in bus	2.84	3	5	Over-design		
check in first	2.73	1	3		Optimum	
check in eco	18.86	10	20		Optimum	
drop off eco	4.22	1	5		Optimum	
drop off bus	0.72	1	3	Over-design		
self	1.76	1	2		Optimum	
security	6.67	5	10		Optimum	

Tabella 28: Simulazione 2 con 65% della capacità: Ottimizzazione dei risultati tramite l'analisi dinamica, Scenario Covid

Come per il primo scenario, si nota che il sottosistema “Drop off business” permane in Over-design. Essendo presente un unico banco e dovendo mantenere il servizio attivo, si considera pertanto come valore ottimale.

Le ultime considerazioni riguardano la Hall Partenze, la quale permane in Over-design. Tale risultato è ancora una volta giustificabile considerando:

1. nell'analisi dinamica non è stata simulata la presenza di eventuali accompagnatori considerati nelle formule IATA.
2. Tramite il software si valutano ed ottimizzano i vari sottosistemi, non tenendo conto di eventuali soste, perdi tempo del singolo passeggero. Nella simulazione, infatti, i passeggeri utilizzano la Hall esclusivamente come corridoio di passaggio per accedere ai vari sottosistemi.

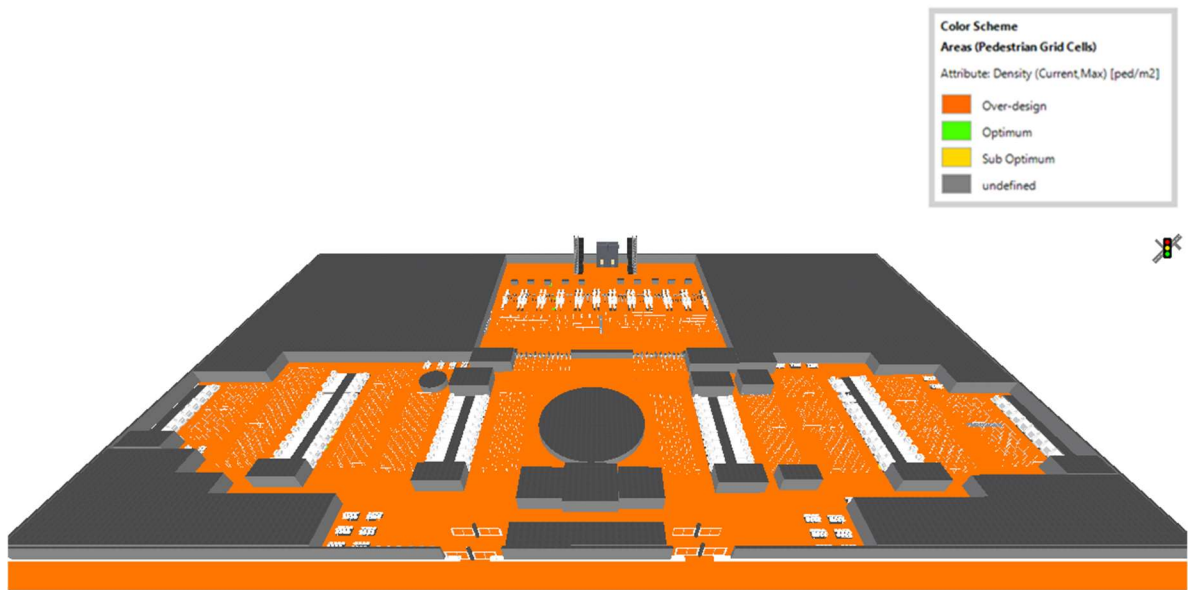


Figura 13: Simulazione 65%, Los Hall Partenze

Simulazione con 80% della capacità

La seconda condizione simulata ha come obiettivo quello di aumentare il limite della capacità. Il vincolo più stringente - tra le limitazioni legate alla pandemia - è il distanziamento sociale. In questi termini, il sottosistema più vincolante è la Hall Partenze dove è necessario garantire uno spazio di 2 mq per ciascuna persona.

Nel periodo pre-covid il traffico presente all'interno della Hall partenze si componeva dei viaggiatori più una percentuale di accompagnatori - fissata da banca dati One-works pari al 30 % dei passeggeri. In periodo Covid è ragionevole ipotizzare una riduzione della percentuale di accompagnatori:

In molte regioni non è permesso lo spostamento tra comuni se non per motivi di prima necessità. Tra questi non rientra l'accompagnamento di amici e/o parenti in aeroporto. Come da disposizioni ministeriali è consentito farsi accompagnare per raggiungere una Regione/Comune diversi da quello di residenza o domicilio qualora lo spostamento sia giustificato da motivi di salute, comprovate esigenze di lavoro o studio e casi di necessità ed urgenza. Tale precisazione riguarda chi non possiede la patente di guida, non ha un mezzo proprio o non possa guidare perché disabile, non autosufficiente o con altro impedimento. (Governo Italiano Presidenza del consiglio dei ministri, 2021)

In un futuro prossimo si prevede che tali limitazioni riguardo gli spostamenti vengano alleggerite. Per poter garantire però la massima capacità, nel rispetto delle misure Covid è stata valutata un'ulteriore opzione:

il divieto per gli accompagnatori di entrare in aeroporto, fatta eccezione per gli accompagnatori di minori e persone deboli.

Tale cambiamento, come riportano i calcoli eseguiti nell'analisi statica, comporta un aumento della capacità potenziale. Risulta che il sistema aeroportuale è in grado di processare, nel rispetto dei vincoli Covid, una percentuale di traffico pari all'80 % del traffico pre-covid.

Dalle formule Excel implementate per l'analisi statica si è ottenuto il numero di facilities necessarie a processare la percentuale di traffico in questione.

	N° Facilities (Statica)
check in bus	6
check in first	7
check in eco	62
drop off eco	8
drop off bus	1
self	10
security	17

Tabella 29: Simulazione con 80% della capacità: n° Facilities calcolato tramite l'analisi statica

Inserendo i risultati dell'analisi statica nel modello creato per effettuare l'analisi dinamica si riscontrano, come per il caso analizzato nel precedente paragrafo, problemi nell'area security: con il numero di corsie previste dall'analisi statica non è possibile processare il totale dei passeggeri nel rispetto dei vincoli Covid.

Il numero di corsie necessarie a processare il traffico totale è 20.

Effettuando tale modifica nell'area security e lasciando invariati il resto dei sottosistemi, i risultati ottenuti dall'analisi dinamica sono i seguenti:

Linee guida per il T
max di attesa (min)

LoS Optimum IATA

	minuti di attesa			LoS Optimum IATA		
	medi	min	max	Over-design	ottimo	Sub ottimo
check in bus	3.78	3	5		Optimum	
check in first	2.25	1	3		Optimum	
check in eco	16.42	10	20		Optimum	
drop off eco	2.12	1	5		Optimum	
drop off bus	1.13	1	3		Optimum	
self	1.93	1	2		Optimum	
security	3.62	5	10	Over-design		

Tabella 30: Simulazione 3 con 80% della capacità: Risultati analisi dinamica, Scenario Covid

È stato fatto variare il numero delle facilities rispetto ai risultati della statica:

	N° Facilities (Statica)	Variazione	N° Facilities (dinamica)
check in bus	6	0	6
check in first	7	0	7
check in eco	62	-3	59
drop off eco	8	-1	7
drop off bus	1	0	1
self	10	0	10
security	17	+3	20

Tabella 31: Confronto dei risultati delle due analisi

I risultati ottenuti dall'analisi dinamica permettono di ottimizzare il sistema:

Linee guida per il T
max di attesa (min)

LoS Optimum IATA

	minuti di attesa medi	min	max	Over-design	ottimo	Sub ottimo
check in bus	3.83	3	5		Optimum	
check in first	2.14	1	3		Optimum	
check in eco	17.89	10	20		Optimum	
drop off eco	4.81	1	5		Optimum	
drop off bus	1.13	1	3		Optimum	
self	1.26	1	2		Optimum	
security	3.98	5	10	Over-design		

Tabella 32: Simulazione 3 con 80% della capacità: Ottimizzazione dei risultati tramite l'analisi dinamica, Scenario Covid

Hall partenze:

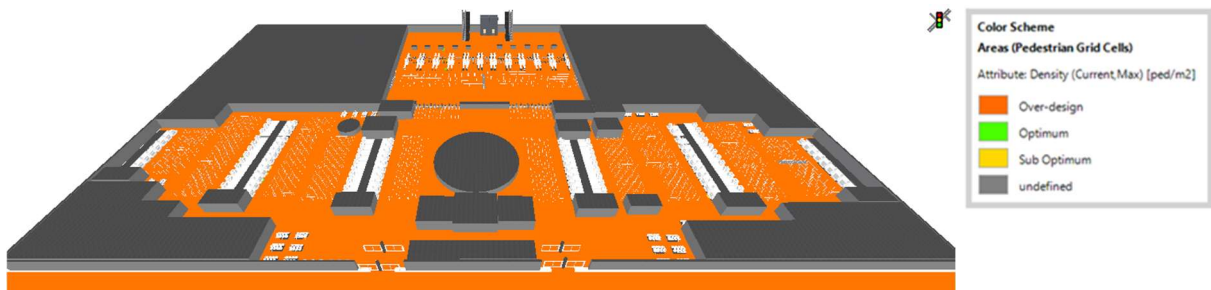


Figura 14: Simulazione 80%, Los Hall Partenze

Dall'analisi dinamica la hall partenze permane in over design. Valgono le stesse considerazioni fatte nel precedente paragrafo.

Confronto dei risultati

La seconda fase del lavoro è stata comparare l'analisi statica e l'analisi dinamica in una situazione straordinaria, nel caso specifico, si fa riferimento alla pandemia di Covid-19.

Tramite il confronto tra le due analisi è risultato che nel rispetto delle misure Covid e senza prevedere alcuna modifica strutturale al sistema, un aeroporto tipo è in grado di processare al massimo l'80% del traffico pre-Covid.

Attraverso i calcoli implementati in Excel si è potuto ottenere tale risultato, il quale successivamente è stato avvalorato e ottimizzato tramite l'analisi dinamica.

In conclusione, per poter viaggiare in sicurezza nel rispetto delle misure Covid è necessario garantire il corretto distanziamento sociale. Ne segue che a parità di aree l'aeroporto potrà processare un numero inferiore di passeggeri ma di conseguenza necessiterà anche di un numero minore di facilities aperte.

I risultati finali sono illustrati nella seguente tabella:

	Caso 0 di riferimento normale esercizio	misure Covid con 80% del traffico rispetto al 2019	Facilities chiuse
N° self	13	10	3
N° banchi tradiz.	93	74	19
N° banchi bagagli	11	8	3
N° corsie di secur.	22	20	2

Tabella 33: N° di facilities necessarie in periodo Covid

Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi è confrontare due metodi di calcolo della capacità aeroportuale: Analisi Statica e Analisi Dinamica.

Il confronto è stato svolto su aeroporto tipo di medie dimensioni valutando due scenari:

Il primo scenario, rinominato "scenario Pre-Covid", simula una situazione di normale esercizio. Le due analisi hanno fornito i seguenti risultati:

		Analisi statica	Analisi dinamica
N° di facilities - LoS Optimum	check in bus	8	8
	check in first	9	7
	check in eco	78	73
	drop off eco	11	8
	drop off bus	2	1
	self	13	12
	security	22	18
LoS	Hall Partenze	Optimum	Over-design

Tabella 34: Scenario Pre-Covid, Confronto finale tra le metodologie di analisi

Dal confronto delle due analisi, si nota come in realtà i risultati ottenuti tramite la statica siano già molto soddisfacenti e tramite l'analisi dinamica si propongono dei minimi aggiustamenti. Gli approcci di simulazione dinamica pur risultando essere molto dispendiosi in termini di tempo (Di Mascio, Moretti and Piacitelli, 2020) consentono di ottimizzare i risultati in un momento in cui il bisogno di efficienza negli aeroporti non è mai stato così grande, con i costi della sicurezza

e del lavoro che continuano ad aumentare ogni anno (FlexSim, 2021). Le autorità aeroportuali di successo devono assicurarsi che i costi associati al personale, alle attrezzature e alle nuove tecnologie siano considerati e ottimizzati, pertanto le simulazioni dinamiche rappresentano una valida alternativa alle più rapide previsioni basate su fogli di calcolo.

Con il secondo scenario, "lo scenario Covid", si è riproposto il confronto tra i due tipi di analisi per la valutazione della massima capacità in una situazione di emergenza.

Dagli studi svolti è risultato che un aeroporto tipo è in grado di processare, nel rispetto dei vincoli Covid, una percentuale massima di traffico pari all'80 % del traffico pre-covid, con l'imposizione del divieto per gli accompagnatori di entrare all'interno del terminal.

Mediante l'analisi statica sono stati dimensionati i vari sottosistemi, i risultati ottenuti sono stati poi riportati nel software PTV Viswalk per procedere con l'analisi dinamica. Si è notato come in tale scenario i risultati fossero già al limite del range Optimum; la chiusura di uno dei banchi check-in o drop off farebbe ricadere i sottosistemi in un range di LoS Sub-Optimum. Inoltre, il numero delle corsie aperte nell'area security calcolate con le formule dell'analisi statica, non sono risultate sufficienti a gestire il traffico passeggeri ma è stato necessario aggiungere delle corsie per processarli tutti. Quest'ultima situazione nella realtà potrebbe creare problemi nel garantire la sicurezza dei passeggeri. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle due analisi per lo scenario Covid:

		Analisi statica	Analisi dinamica
N° di facilities - LoS Optimum	check in bus	5	5
	check in first	5	5
	check in eco	50	47
	drop off eco	6	6
	drop off bus	1	1
	self	8	8
	security	14	15
LoS	Hall Partenze	Optimum	Over-design

Tabella 35: Scenario Covid, Confronto finale tra le metodologie di analisi

In conclusione, mediante tale lavoro di tesi finalizzato ad approfondire il confronto tra le due metodologie di analisi, si deduce che:

- L'analisi statica è uno strumento semplice e chiaro per valutare il comportamento del sistema durante il suo periodo di punta. In una situazione di normale esercizio, questa tipologia di analisi può essere utilmente impiegata per individuare ed evidenziare i componenti deboli del sistema e per stimare la qualità del servizio fornito. In una situazione di emergenza risulta invece essere meno performante in quanto essendo basata su formule empiriche, è difficile includervi parametri specifici.
- L'analisi dinamica, grazie al monitoraggio dell'intero percorso del passeggero, permette di identificare dei bottleneck temporanei o dei sovraffollamenti localizzati che possono influenzare il comfort e la sicurezza del passeggero durante il percorso a prescindere dall'area destinata ai sottosistemi presi in esame. I costi e il consumo di tempo sono

gli svantaggi degli approcci di simulazione dinamica. Per tali motivi, è da preferire in una fase progettuale avanzata in cui è necessario analizzare nel dettaglio dei punti o delle aree specifiche del layout.

Per i motivi elencati, le due analisi sono di solito utilizzate in due fasi differenti del progetto: in una fase iniziale si tende a preferire l'analisi statica mentre in una fase più avanzata quella dinamica.

Al netto dei risultati ottenuti mediante tale lavoro di tesi, si ritiene che l'uso congiunto delle due metodologie possa permettere di sviluppare un'analisi corretta e accurata di qualsiasi aeroporto landside. L'integrazione delle due analisi consente di sopperire ai difetti di ciascuna: la più rapida analisi statica può essere considerata punto di partenza dell'analisi dinamica. Seguendo tale schema si prevede l'ottimizzazione dei risultati e minore consumo di tempo.

Bibliografia

Airport Council International (2020) *Health Guidelines for passegnger experience at airport.*

Airport Milan Bergamo (2020) *diritto alla mobilita' di soggetti deboli e minori all'aeroporto di milano bergamo 60mila assistiti nel 2019.* Available at:

<https://www.milanbergamoairport.it/it/news/255-diritto-alla-mobilita'-di-soggetti-deboli-e-minori-all'aeroporto-di-milano-b/>.

Airport Milan Bergamo (2021) *covid-19 info utili.* Available at:

<https://www.milanbergamoairport.it/it/covid/>.

Airport Research Center (2021) *cast, simulation-software.* Available at: <https://arc.de/cast-simulation-software/>.

Andrew C. Lemer (1987) *Measuring Airport Landside Capacity., Special Report - National Research Council, Transportation Research Board.*

Ashford, N. J. & Wright, P. H. (1992) *Airport Engineering.*

Denisiano, A. D. (2017) *Long-Term Infrastructure Planning of Airport System in Developing Countries.*

ENAC (2017) *organizzazioni internazionali,IATA.* Available at:

<https://www.enac.gov.it/organismi-internazionali/associazioni/iata>.

EUROCONTROL (2016) *airport capacity assessment methodology.* Available at:

www.eurocontrol.int.

EUROCONTROL (2020) *Impact assessment of COVID-19 measures on airport performance.*

FAA (2007) *Advisory Circular 150/5060-5 Airport Capacity and Delay.*

FlexSim (2021) *flexsim, airport-simulation.* Available at:

<https://www.flexsim.com/airport-simulation/>.

Governo Italiano Presidenza del consiglio dei ministri (2021) *Misure adottate per il contenimento della pandemia di Covid-19.* Available at:

<https://www.governo.it/it/articolo/domande-frequenti-sulle-misure-adottate-dal-governo>.

IATA (2017a) *Baggage drop facilities*.

IATA (2017b) *Level of Service Guidelines*.

IATA (2017c) *Self-Service Facilities*.

IATA (2017d) *Traditional Check-In*.

IATA (2019) *Airport Development Reference Manual, 11th ed.*

IATA and ACI (2017) *Improved Level of Service Concept*.

Lufthansa (2021) *Consegna del bagaglio*. Available at:
<https://www.lufthansa.com/it/it/consegna-bagaglio>.

Di Mascio, P., Moretti, L. and Piacitelli, M. (2020) *Airport landside sustainable capacity and level of service of terminal functional subsystems*.

Nichele, S. (2014) *La capacità Aeroportuale*.

PTV GROUP (2018) *Training Ptv Viswalk:simulazione dei pedoni*.

The National Academies of Engineering (2021) *Aviation Research at TRB*.

Transportation research board (1987) *Measuring Airport Landside Capacity*.

VeneziaAirport (2021) *Volare in sicurezza*. Available at:
<https://www.veneziaairport.it/volare-in-sicurezza.html>.

Indice delle Tabelle

Tabella 1: LoS Categorization	12
Tabella 2:LoS Guidelines.....	13
Tabella 3:Typical peak hour passengers	21
Tabella 4: Valori input per l'analisi statica, Hall Partenze – Scenario Pre-Covid	24
Tabella 5:Valori input per l'analisi statica, Check- in Self-service – Scenario Pre-covid	27
Tabella 6: fattore di correzione "Cf"	29
Tabella 7: Fattore di correzione "Qf"	30
Tabella 8:Valori input per l'analisi statica, banchi Check-in tradizionali – Scenario Pre-covid	32
Tabella 9:Valori input per l'analisi statica, Drop off – Scenario Pre-covid	36
Tabella 10:Valori input per l'analisi statica, Area Controlli Sicurezza – Scenario Pre-covid....	38
Tabella 11: Scenario Pre-Covid: Composizione del traffico.....	44
Tabella 12:Linee guida Iata	50
Tabella 13: Simulazione 1: Risultati analisi dinamica, Scenario Pre-Covid.....	55
Tabella 14: Ottimizzazione dei risultati tramite l'analisi dinamica	55
Tabella 15:Simulazione 1: Ottimizzazione dei risultati tramite l'analisi dinamica, Scenario Pre-Covid	56
Tabella 16: Confronto dei risultati ottenuti dalle due analisi	57
Tabella 17:Valori input per l'analisi statica, Hall Partenze – Scenario Covid	62
Tabella 18:Valori input per l'analisi statica, Check-in Self-service – Scenario Covid	63
Tabella 19: Valori input per l'analisi statica, Banchi Check-in tradizionali – Scenario Covid ..	64
Tabella 20: Valori input per l'analisi statica, Drop off – Scenario Covid	65
Tabella 21:Valori input per l'analisi statica, Area controlli sicurezza – Scenario Covid	66
Tabella 22: Confronto tra gli scenari Pre-covid e Covid con traffico invariato.....	68
Tabella 23:Confronto tra gli scenari Pre-covid e Covid - traffico pari al 30% del traffico Pre-covid	69
Tabella 24:Confronto tra gli scenari Pre-covid e Covid – traffico pari al 65% del traffico Pre-covid	70

<i>Tabella 25: Confronto tra gli scenari Pre-covid e Covid – traffico pari al 80% del traffico Pre-covid</i>	<i>72</i>
<i>Tabella 26: Simulazione 2 con 65% della capacità: Risultati analisi dinamica, Scenario Covid</i>	<i>76</i>
<i>Tabella 27: Simulazione con il 65% della capacità, confronto dei risultati delle due analisi.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabella 28: Simulazione 2 con 65% della capacità: Ottimizzazione dei risultati tramite l'analisi dinamica, Scenario Covid.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabella 29: Simulazione con 80% della capacità: n° Facilities calcolato tramite l'analisi statica</i>	<i>81</i>
<i>Tabella 30: Simulazione 3 con 80% della capacità: Risultati analisi dinamica, Scenario Covid</i>	<i>82</i>
<i>Tabella 31: Confronto dei risultati delle due analisi</i>	<i>82</i>
<i>Tabella 32: Simulazione 3 con 80% della capacità: Ottimizzazione dei risultati tramite l'analisi dinamica, Scenario Covid.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabella 33: N° di facilities necessarie in periodo Covid</i>	<i>84</i>
<i>Tabella 34: Scenario Pre-Covid, Confronto finale tra le metodologie di analisi.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabella 35: Scenario Covid, Confronto finale tra le metodologie di analisi.....</i>	<i>87</i>

Indice delle figure

<i>Figura 1: Categorie LoS IATA.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2:hall partenze, aeroporto di Macao-Portogallo</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3: chioschi check in self-service.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4:chioschi check-in tradizionali</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5: Baggage Drop-off.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6: Scenario Pre-Covid: Pianta modello PTV Viswalk</i>	<i>42</i>
<i>Figura 7: flusso passeggeri.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 8:Route ingresso</i>	<i>46</i>
<i>Figura 9:Route accodamenti check-in economy</i>	<i>47</i>
<i>Figura 10: Route banchi check-in economy.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 11:Route banchi security.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 12:Route E-gates e accodamenti area controllo sicurezza</i>	<i>48</i>
<i>Figura 13: LoS Hall Partenze, Analisi dinamica</i>	<i>52</i>
<i>Figura 14:spazio necessario con 1.5 m di distanza fisica, fonte: Eurocontrol.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 15: Simulazione 65%, Los Hall Partenze.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 16:Simulazione 80%, Los Hall Partenze.....</i>	<i>83</i>