



**STUDIO PILOTA PER LA FATTIBILITA' TECNICA ED
ECONOMICA DI UNA PIAZZOLA ADIBITA ALLE
OPERAZIONI DI DE-ICING E ANTI-ICING PRESSO
L'AEROPORTO DI TORINO "SANDRO PERTINI"**

**TORINO
AIRPORT**
CONNECTED TO




SAGAT

Relatore: Prof. Ing. Orazio Baglieri

Co-relatore aziendale: Ing. Maurizio Primo

Studente: Lorenzo Traverso

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	3
2. AEROPORTO DI TORINO-CASELLE	5
3. STUDIO FUNZIONALE	8
3.1 OPERAZIONI DI DE-ICING E ANTI-ICING	8
3.2 PREDIMENSIONAMENTO DELLA PIAZZOLA DE-ICING	12
3.2.1 TRAFFICO AEREO DELL’AEROPORTO DI TORINO.....	12
3.2.2 DIMENSIONI DELLA PIAZZOLA DE-ICING.....	14
3.2.3 FORMA DELLA PIAZZOLA DE-ICING.....	19
3.2.4 ILLUMINAZIONE DELLA PIAZZOLA DE-ICING	21
3.2.5 INTERAZIONE CON LE SUPERFICI DI DELIMITAZIONE DEGLI OSTACOLI	24
3.2.5.1 SUPERFICIE DI TRANSIZIONE (TRANSITIONAL SURFACE)	26
3.2.5.2 SUPERFICIE DI AVVICINAMENTO (APPROACH SURFACE).....	26
3.2.6 DIMENSIONI DELLE TAXIWAY E DISTANZE MINIME DI SICUREZZA	28
3.3 IPOTESI DI POSIZIONAMENTO DELLA PIAZZOLA DE-ICING.....	33
3.3.1 IPOTESI 1.....	34
3.3.2 IPOTESI 2.....	35
3.3.3 IPOTESI 3.....	37
3.3.4 IPOTESI 4.....	39
3.3.5 IPOTESI 5.....	41
3.3.6 IPOTESI 6.....	43
4. STUDIO GEOMETRICO	47
4.1 SVILUPPO GEOMETRICO (IPOTESI DUE).....	53
4.2 SVILUPPO GEOMETRICO (IPOTESI TRE)	65
5. STUDIO STRUTTURALE	75
5.1 SOVRASTRUTTURA DELLE PIAZZOLE DE-ICING IN EUROPA.....	75
5.2 EFFETTI DEI PRODOTTI DE-ICING SULLE PAVIMENTAZIONI	78
5.3 DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE	81
5.3.1 DIMENSIONAMENTO SOVRASTRUTTURA DELLA PIAZZOLA DE-ICING.....	89
5.3.2 DIMENSIONAMENTO SOVRASTRUTTURA DELLE TAXIWAY	97
5.4 VALUTAZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE: METODO ACN-PCN	102
5.4.1 CALCOLO DEL VALORE ACN.....	103
5.4.2 CALCOLO DEL VALORE PCN.....	107
5.4.2.1 USING AIRCRAFT METHOD	107
5.4.2.2 TECHNICAL EVALUATION METHOD	107
6. STIMA ECONOMICA	114
7. CONCLUSIONI	116
8. BIBLIOGRAFIA	119
9. ALLEGATI	I
9.1 ALLEGATO A (IPOTESI 2) – TAV.1 – TAV.2 – TAV. 3	II
9.2 ALLEGATO B (IPOTESI 3) – TAV.4 – TAV.5 – TAV. 6	III

1. INTRODUZIONE

La presenza di ghiaccio sulla superficie di un aeromobile è un problema da non sottovalutare in ambito aeronautico, in quanto può portare al malfunzionamento, o addirittura all'immobilità di alcune delle sue parti. A causa della pericolosità di tale fenomeno è assolutamente necessario, prima del decollo, procedere alla rimozione del ghiaccio o ad effettuare un trattamento che impedisca la formazione dello stesso: queste operazioni sono comunemente conosciute con il nome, rispettivamente, di de-icing e anti-icing. Tali attività sono normalmente svolte nelle aree di sosta degli aeromobili, comportando una serie di possibili problemi di interazione con le altre operazioni che vengono eseguite sul piazzale. Inoltre, al fine di condizionare il meno possibile la normale operatività dell'aeroporto, è necessario fare in modo che i trattamenti vengano svolti il più accuratamente e velocemente possibile: per questi motivi può essere resa necessaria la realizzazione di una piazzola adibita esclusivamente alle operazioni di de-icing e anti-icing.

L'oggetto della presente tesi riguarda lo studio, dal punto di vista funzionale, geometrico e strutturale, volto alla realizzazione di una piazzola di de-icing e anti-icing presso l'Aeroporto di Torino.

La tesi è articolata nel modo seguente.

Nel primo capitolo viene effettuata una breve introduzione sull'Aeroporto di Torino, descrivendone le caratteristiche, l'infrastruttura esistente ed il traffico passeggeri.

Nel secondo capitolo vengono analizzate le varie ipotesi effettuate per quanto riguarda il posizionamento ottimale della piazzola. Prima di valutare le proposte viene spiegato in cosa consiste il processo di de-icing e di anti-icing, vengono analizzati nel dettaglio i vantaggi che comporterebbe la realizzazione di un'area dedicata esclusivamente a tali operazioni e vengono pre-dimensionate la forma e dimensioni della piazzola e delle taxiway, a seconda delle categorie di aeromobili da servire e nell'osservanza delle normative imposte dall'Agenzia Europea per la Sicurezza Aerea (EASA) per quanto riguarda margini di sicurezza, interazione con le superfici di delimitazione ostacoli e necessità di illuminazione. Al termine dell'analisi viene deciso quale soluzione sia la migliore in base a criteri di fattibilità quali necessaria rimozione di manufatti esistenti, installazione di torri faro, interferenze sull'operatività aeroportuale, stima economica qualitativa ed eventuali sfiorature delle superfici di delimitazione degli ostacoli.

Nel terzo capitolo vengono progettati tutti gli aspetti geometrici relativi alla soluzione scelta per la realizzazione della piazzola de-icing e anti-icing, con specifico riferimento al dimensionamento dei raccordi curvi, nonché alla

larghezza, lunghezza, pendenza longitudinale e trasversale delle taxiway a servizio della piazzola e della piazzola stessa.

Nel corso dell'analisi strutturale, effettuata nel quarto capitolo, viene dimensionata la sovrastruttura di tutti i nuovi tratti previsti dal progetto. A tal fine è stato impiegato il software "FAARFIELD", messo a punto dalla statunitense FAA (Federal Aviation Administration) e adottato in ambito aeroportuale, che permette di determinare gli spessori di ogni strato di pavimentazione per la flotta di aerei assegnata. L'utilizzo di un ulteriore software, denominato "COMFAA", permette invece di assegnare alle pavimentazioni progettate un indice PCN, rappresentativo della capacità portante, che viene confrontato con gli indici ACN, rappresentativi dell'effetto di ogni aeromobile sulla sovrastruttura.

Nell'ultimo capitolo, viene effettuata una stima quantitativa del costo associato alla realizzazione e si traggono le principali conclusioni dello studio.

Vengono, infine, presentate in allegato le tavole che illustrano nel dettaglio il progetto.

2. AEROPORTO DI TORINO-CASELLE

L'Aeroporto di Torino-Caselle "Sandro Pertini" (Figura 1) è uno scalo aereo situato a 16 km a nord dalla città di Torino. L'infrastruttura aeroportuale, che può ospitare qualsiasi tipo di aeromobile esistente, può gestire un traffico fino a 6 milioni di passeggeri l'anno, 28 movimenti all'ora, 3.200 bagagli all'ora e la pista di volo 18/36 è lunga 3300 m e larga 60 m.



Figura 1: Aeroporto di Torino-Caselle

La pista di volo è connessa ad una via di rullaggio, che si sviluppa parallelamente alla pista stessa, tramite sette raccordi (Alfa, Bravo, Charlie, Delta, Echo, Foxtrot, Golf), mostrati in Figura 2.

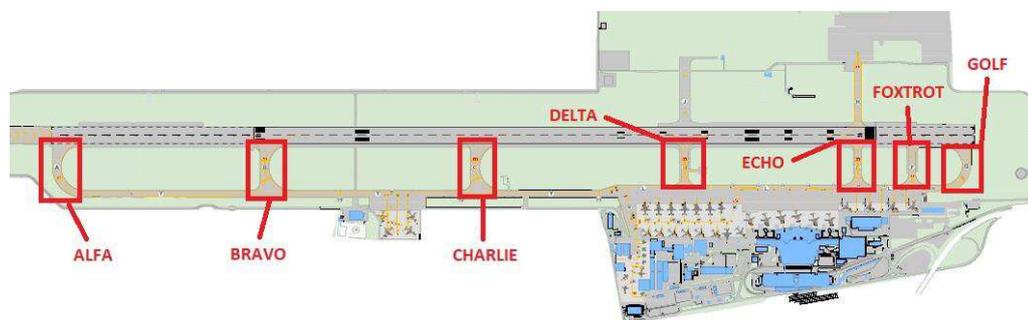


Figura 2: raccordi taxiway-runway dell'Aeroporto di Torino

Vi sono inoltre due taxiway, ovvero le vie di rullaggio che collegano parti diverse dell'aeroporto, denominate Yankee e Lima, e due taxilane, ovvero le vie di rullaggio che forniscono accesso alle aree di parcheggio, denominate Mike e November (Figura 3).

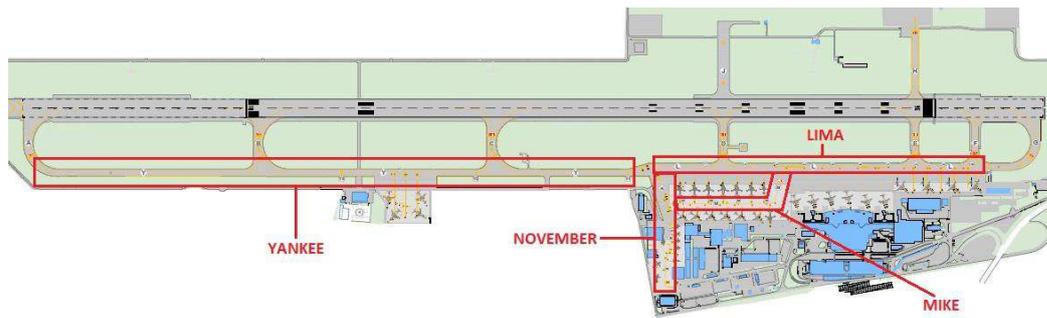


Figura 3: taxiway dell'Aeroporto di Torino

Nell'aeroporto sono presenti tre aree destinate alla sosta degli aeromobili:

- piazzale principale, posto a ridosso dell'aerostazione e suddiviso in tre zone (nord, centrale e sud);
- piazzale Kilo, posto a nord, tra il raccordo Bravo e Charlie, e destinato ad ospitare gli aeromobili di dimensioni maggiori;
- piazzale dell'aviazione generale, posto a ridosso della stazione omonima.

Le aree di sosta sono mostrate in Figura 4.

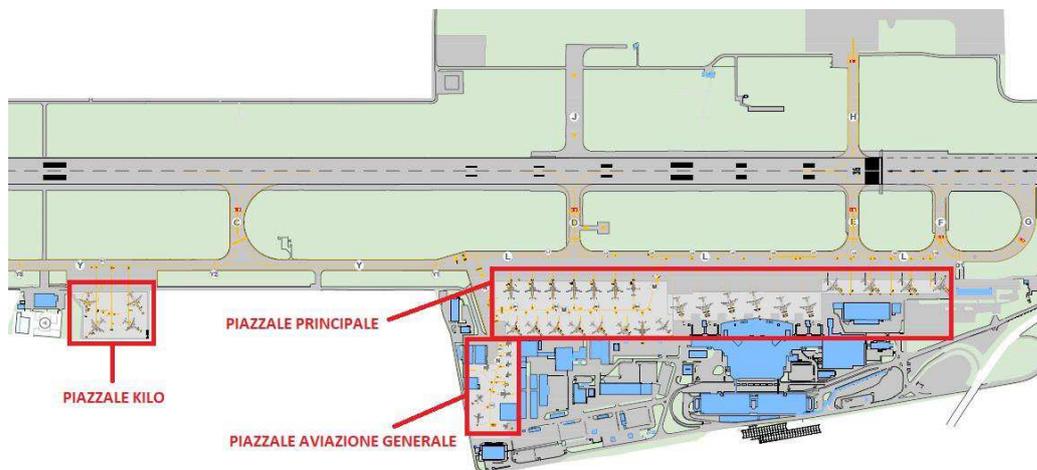


Figura 4: aree di sosta dell'Aeroporto di Torino

Nel corso degli anni sta vivendo una crescita costante per quanto riguarda il numero di passeggeri, in quanto da gennaio 2014 tutti i mesi hanno registrato segno positivo rispetto ai corrispettivi mesi degli anni precedenti. Nell'anno 2017 l'Aeroporto di Torino ha battuto il record storico di passeggeri trasportati in un anno, registrando alla fine di dicembre quasi 4,18 milioni di passeggeri. I dati di crescita dell'aeroporto, comparati con quelli osservati a livello nazionale, sono mostrati in Tabella 1.

ANNO	PAX. TOTALI	CRESCITA [%]	CRESCITA NAZ. [%]
2013	3.160.287		
2014	3.431.986	8,6	4,5
2015	3.666.582	6,8	4,5
2016	3.950.908	7,4	4,6
2017	4.176.556	5,7	6,4

Tabella 1: crescita passeggeri dell'Aeroporto di Torino-Caselle

3. STUDIO FUNZIONALE

Per studio funzionale si intende sostanzialmente la determinazione della posizione ottimale per la realizzazione della piazzola de-icing. Prima di procedere con la soluzione, è necessario spiegare cosa sia il processo di de-icing e di anti-icing e quali vantaggi avrebbe la realizzazione di un'area dedicata a tali operazioni.

3.1 OPERAZIONI DI DE-ICING E ANTI-ICING

Il de-icing è il processo mediante il quale, tramite un fluido a base di glicole, viene rimosso il ghiaccio e la neve dalle superfici di un aeromobile (ali, piani di coda, antenne, eliche, prese di pressione, fusoliera). Successivamente al de-icing viene realizzato il processo di anti-icing, che consiste nell'utilizzo di un fluido simile volto a prevenire la formazione di ghiaccio o ad eliminare gli effetti delle precipitazioni nevose sul velivolo fino al momento del decollo. I due processi possono essere realizzati in una sola applicazione (one-step) o a breve distanza l'una dall'altra (two-step). Il tempo che intercorre tra l'inizio del processo di anti-icing al possibile riformarsi di ghiaccio sulla superficie dell'aeromobile prende il nome di "holdover time"; tale tempo è tabellato in funzione di temperatura esterna, tipo di fluido utilizzato e concentrazione del fluido nella miscela. Se si esegue un processo one-step, l'"holdover time" comincia con l'inizio dell'operazione; in caso di processo two-step, invece, comincia con l'inizio del secondo processo di applicazione del fluido. In Figura 5 sono mostrati i mezzi de-icing durante una tipica operazione.



Figura 5: l'operazione di de-icing su un aeromobile

Tradizionalmente, il de-icing viene effettuato nelle piazzole di sosta degli aeromobili, con i bagagli caricati in stiva, i passeggeri imbarcati e le porte del velivolo chiuse. In queste condizioni i mezzi dedicati alle operazioni approssimano l'aeromobile ed effettuano il trattamento. Le aree di sosta devono essere sufficientemente grandi per permettere ai mezzi di raggiungere tutte le superfici critiche e di muoversi intorno all'aeromobile senza difficoltà.

In molti aeroporti, specialmente quelli con elevato traffico di passeggeri, i trattamenti vengono effettuati in un'area dedicata, chiamata piazzola de-icing. La realizzazione di tale area comporta vari vantaggi, infatti:

- le compagnie aeree ed i gestori aeroportuali preferiscono che gli aeromobili stiano al gate per la minor durata possibile; questo permette che possibili altri velivoli in arrivo non debbano aspettare ulteriore tempo per avvicinarsi;
- poiché il fluido per il de-icing è impattante dal punto di vista ambientale, è preferibile che il liquido non venga accumulato nelle piazzole di sosta e smaltito insieme alle acque meteoriche, ma che venga raccolto separatamente;
- il liquido per il de-icing è parecchio scivoloso, e ciò comporta un rischio per le persone che devono camminare nell'area;
- le aree di parcheggio sono spesso congestionate dal traffico di terra; risulta quindi più facile per i mezzi per il de-icing muoversi in un'area dedicata;
- se realizzata in prossimità della pista di decollo, consente di ridurre il tempo che intercorre tra la fine delle operazioni e il decollo degli aeromobili;
- non si avrebbe più necessità di spostare continuamente i mezzi per il de-icing, ma questi ultimi troverebbero una localizzazione fissa dove poter operare.

In un numero ridotto di aeroporti nel mondo, invece, è stata studiata un'ulteriore soluzione, che consiste nella costruzione di un portale che utilizza la tecnologia del riscaldamento infrarossi per effettuare il de-icing degli aeromobili: è il caso di tre aeroporti nordamericani, tra cui il "John F. Kennedy" di New York (Figura 6), e uno europeo, sito in Oslo.



Figura 6: operazione di de-icing su un Boeing 747 presso l'Aeroporto JFK di New York

Il sistema consiste nell'utilizzo di generatori infrarossi, chiamati "Energy Processing Units" (EPU), localizzati nella parte interna della struttura. Gli EPU sono alimentati da gas naturale e generano onde di raggi infrarossi in grado di sciogliere ghiaccio e neve. Se la superficie dell'aereo è secca, le onde sono riflesse completamente, come mostra la Figura 7.

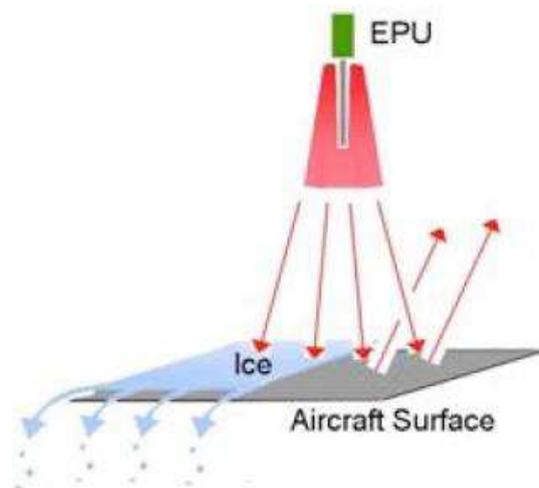


Figura 7: funzionamento di un EPU

L'intero processo è progettato per essere utilizzato da una sola persona ed è principalmente controllato da computer.

La struttura dell'Aeroporto JFK di New York, quella più grande del mondo, ha una superficie di quasi 6500 m², è alta 26 m, contiene 1760 EPU e può ospitare aerei

di dimensioni fino al Boeing 747. L'intera struttura è costata circa 9,5 milioni di dollari.

Chiaramente, la costruzione di un portale che funziona a infrarossi comporta un grande investimento di denaro iniziale, ma consente di risparmiare su ogni singolo trattamento all'aeromobile e, per di più, è molto meno impattante sull'ambiente a differenza dei fluidi per il de-icing tradizionali.

L'Aeroporto di Torino nella stagione invernale svolge un elevato numero di operazioni di de-icing, che normalmente vengono eseguite nelle piazzole di sosta degli aeromobili, come mostrato in Figura 8. A causa della dimensione dell'aeroporto, del numero limitato di mesi in cui vengono svolte le operazioni comparato con gli aeroporti nordamericani o nordeuropei, della mancanza di spazi adeguati, viene ritenuta non necessaria la costruzione di un portale automatico a raggi infrarossi. Risulta opportuna, tuttavia, la costruzione di una piazzola adibita alle operazioni, utilizzando i metodi tradizionali, a causa dei motivi già esposti in precedenza.



Figura 8: operazione di de-icing su un Boeing 737-800 presso un'area di sosta dell'Aeroporto di Torino

Lo scopo della presente tesi è dunque quello di studiare il posizionamento ottimale, la forma, le dimensioni e la struttura della pavimentazione di una piazzola de-icing da realizzarsi all'interno dello scalo torinese verificandone nel contempo la fattibilità dal punto di vista tecnico ed economico. A tal fine si farà anche riferimento ad uno studio effettuato in precedenza, nel quale si erano studiate quattro differenti ipotesi per la collocazione della piazzola. La zona nella quale realizzare la nuova infrastruttura risulta comunque essere quella a sud-ovest rispetto all'estremità sud della pista 18/36 (Figura 9).



Figura 9: inquadramento area di realizzazione della futura piazzola de-icing

Ciò in quanto circa il 98% dei voli in partenza e in arrivo utilizzano la pista 36 e non la 18. Gli aeromobili in partenza dalla pista 18 dovranno continuare ad effettuare il de-icing presso le aree di parcheggio.

3.2 PREDIMENSIONAMENTO DELLA PIAZZOLA DE-ICING

Al fine di individuare il posizionamento ottimale della piazzola, requisito fondamentale è quello di stabilire in modo preliminare le dimensioni della stessa, andando ad individuare quali classi ICAO di aeromobili può ospitare e, una volta individuata la classe ICAO massima, stabilendo le dimensioni dell'aereo critico: infatti, come si può leggere nel documento "Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design" redatto dall'EASA *"The size of a de-icing/anti-icing pad should be equal to the parking area required by the most demanding aircraft"*.

3.2.1 TRAFFICO AEREO DELL'AEROPORTO DI TORINO

Il problema che si pone in primo luogo è quindi quello di determinare per quali classi ICAO di aeromobili dimensionare la piazzola; a tal fine vengono analizzati i dati di partenze e arrivi dell'aeroporto di Torino nel corso dell'anno 2016. Nelle statistiche si possono visualizzare tutti i tipi di aerei transitati dall'aeroporto, la relativa classe ICAO e, per ogni velivolo, il numero di partenze e arrivi. I dati vengono sintetizzati in Tabella 2.

CLASS. ICAO	PARTENZE TOTALI	ARRIVI TOTALI	MOVIMENTI TOTALI
A	2.794	2.793	5.587
B	1.425	1.417	2.842
C	18.425	18.428	36.853
D	114	114	228
E	15	15	30
F	4	4	8
N.D.	119	119	238
TOT.	22.896	22.890	45.786

Tabella 2: partenze e arrivi suddivisi per classi ICAO

Si può notare come la maggior parte del traffico aereo sia costituito da velivoli di classe ICAO C, mentre una ridotta parte è costituito da velivoli delle classi D, E ed F. Alcuni aerei non sono stati assegnati a nessuna categoria ICAO: la maggior parte di essi, comunque, sono di piccole dimensioni. Per evidenziare maggiormente la composizione della flotta, viene proposta una seconda tabella (Tabella 3) ed un grafico a torta (Grafico 1), in cui vengono calcolate le percentuali delle partenze degli aeromobili a seconda delle classi ICAO.

CLASSE ICAO	PERCENTUALE PARTENZE [%]
A	12,20
B	6,22
C	80,47
D	0,50
E	0,07
F	0,02
N.D.	0,52

Tabella 3: percentuali partenze suddivise per classi ICAO

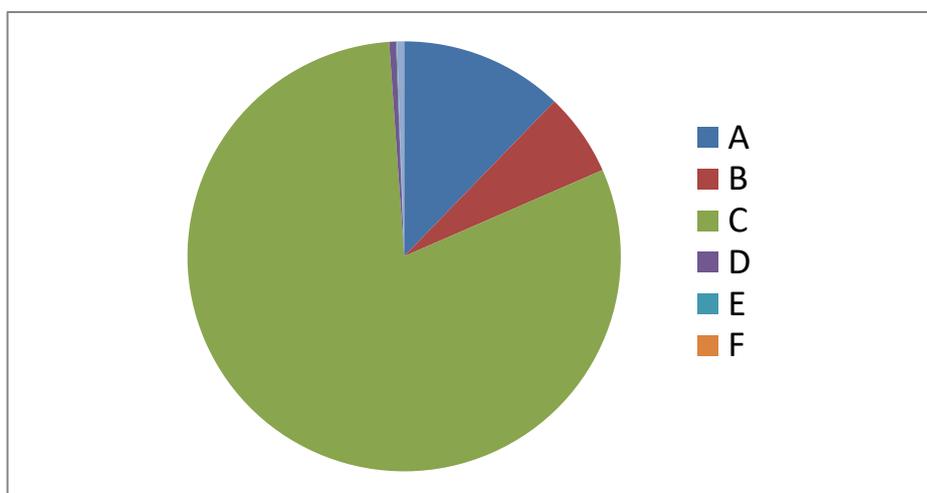


Grafico 1: partenze suddivise per classi ICAO

Il traffico aereo è costituito per più dell'80% da velivoli di classe C, mentre i velivoli di classi D, E ed F costituiscono complessivamente solamente il 0,59%. Viene ritenuto, di conseguenza, non necessario dimensionare la piazzola de-icing per tali classi, in quanto risulterebbe decisamente più oneroso a causa delle dimensioni delle taxiway e della piazzola stessa, porterebbe più complicazioni per il posizionamento e per i requisiti minimi geometrici, e sarebbe necessario un più prudente dimensionamento della sovrastruttura. Gli aeromobili di classi D, E ed F dovranno continuare ad effettuare le operazioni di de-icing presso le aree di sosta.

3.2.2 DIMENSIONI DELLA PIAZZOLA DE-ICING

Occorre a questo punto stabilire preliminarmente le dimensioni della piazzola, in modo da poter effettuare lo studio funzionale riguardante il posizionamento ottimale della stessa. A tal fine si fa sempre riferimento alla normativa tecnica EASA, in particolare al documento "Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design, Issue 4", aggiornato al 13/12/2017. Nel capitolo G di tale documento si parla di "Attrezzature contro la presenza e la formazione del ghiaccio sugli aeromobili (*de/anti-icing facilities*)". In particolare, viene affermato che:

- *"Aeroplane de-icing/anti-icing facilities should be provided at an aerodrome where icing conditions are expected to occur."*

Nel caso dell'Aeroporto di Torino, come già affermato, vengono effettuate parecchie operazioni durante la stagione invernale. Le attrezzature per il de-icing sono già presenti; tuttavia, si vuole realizzare una piazzola apposita per tale attività.

- *"The de-icing/anti-icing facilities should be located to be clear of the obstacle limitation surfaces to not cause interference to the radio navigation aids and be clearly visible from the air traffic control tower for clearing the treated aeroplane. "*

La possibile interazione con le superfici di delimitazione ostacoli, argomento di fondamentale importanza per la scelta del posizionamento della piazzola, verrà analizzato e verificato nel corso della presente analisi.

Per quanto riguarda le dimensioni e le caratteristiche geometriche della piazzola, sempre nello stesso documento, viene stabilito che:

- *"The safety objective of the de-icing/anti-icing pad dimensions is to allow safe positioning of aircraft for de-icing/anti-icing, including sufficient room for the safe movement of de-icing vehicles around the aircraft. The size of a de-icing/anti-icing pad should be equal to the parking area required by the most*

demanding aircraft in a given category with at least 3.8 m clear paved area all around the aeroplane for the movement of the de-icing/anti-icing vehicles.”

Per stabilire le dimensioni effettive, occorre dunque individuare l'aeromobile più ingombrante tra quelli che la utilizzeranno. Sono state stabilite quindi le caratteristiche dei vari tipi di velivoli: in particolare è stata definita, per tutti gli aerei di classe C partiti dall'aeroporto nel corso dell'anno 2016, l'apertura alare (*wingspan*) e la lunghezza totale (*length*), come mostrato in Figura 10.

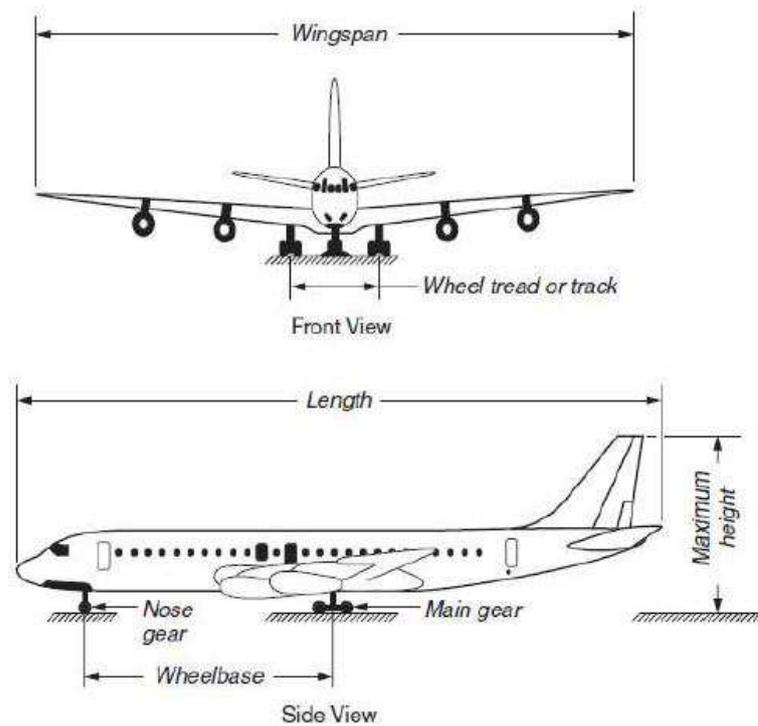


Figura 10: grandezze misurate per gli aeromobili

I risultati, ottenuti tramite ricerche sui siti ufficiali dei costruttori degli aerei o dal sito <http://www.flugzeuginfo.net>, sono sintetizzati in Tabella 4.

MODELLO AEREO	WINGSPAN [m]	LENGTH [m]
A319-100	35,80	33,84
A320-200	35,80	37,57
BOEING 737-400	28,88	36,40
BOEING 737-800 STANDARD	34,32	39,50
BOEING 737-800 WINGLETS	35,79	39,50
CANADAIR REGIONAL JET 900	24,85	36,40
EMBRAER ERJ-195	28,72	38,65
BRITISH AEROSPACE 146	26,34	28,55
EMBRAER ERJ-190	28,72	36,24
BOEING 737-500	28,88	31,01
BOEING 737-300	28,88	33,40
BOEING 717	28,45	37,81
EMBRAER ERJ-175	28,70	31,68
CANADAIR REGIONAL JET 1000	26,19	39,14
MCDONNELL DOUGLAS MD80	32,87	45,00
A321-200	34,09	44,51
BOEING 737-700	34,32	33,65
FOKKER F70	28,08	30,90
DASH 8Q	28,42	32,84
CANADAIR REGIONAL JET 1000 NG	26,19	39,14
MCDONNELL DOUGLAS MD82	32,87	45,00
DASSAULT FALCON 7X	26,21	23,19
CANADAIR GLOBAL EXPRESS	28,65	30,30
AVRO RJ70	26,34	26,16
EMBRAER ERJ-170	26,00	29,90
BOEING 737-700 WINGLETS	35,79	33,63
AVRO RJ100	26,34	30,99
FOKKER F100	28,08	35,53
BOEING 737-600	34,32	31,24
BOEING 737-300	28,88	33,40
ANTONOV AN 26	29,20	23,80
ALENIA ATR 72	27,00	27,20
A318	34,10	31,44
BOEING 737-900	35,79	42,11
ANTONOV AN72	31,89	28,07
ANTONOV AN24	29,20	23,53
FOKKER F50	29,00	25,25

Tabella 4: apertura alare e lunghezza per gli aerei nella flotta

Da come si può notare, gli aerei critici sono, per quanto riguarda l'apertura alare, gli Airbus A319 ed A320, mentre, per quanto riguarda la lunghezza, i

McDonnell Douglas MD80 ed MD82. Di conseguenza, le dimensioni per l'area interna destinata al parcheggio degli aeromobili sono 35,8 m in larghezza e 45 m in lunghezza. A questi vanno aggiunti, come afferma il documento consultato, almeno 3,8 m intorno a tutto l'aeromobile, per la movimentazione dei mezzi adibiti al trattamento. La piazzola deve quindi garantire le lunghezze e larghezze minime evidenziate in Tabella 5, dove i totali sono stati arrotondati in eccesso al numero intero.

	LARGHEZZA [m]	LUNGHEZZA [m]
DIMENSIONI AEROMOBILE	35,80	45,00
SPAZIO PER MEZZI DE-ICING PER LATO	3,80	3,80
TOTALE ARROTONDATO	44	53

Tabella 5: dimensioni piazzola de-icing

In definitiva, da come si può osservare, la piazzola sarà lunga 53 m e larga 44 m. In particolare, verranno destinati 36 m in larghezza e 45 m in lunghezza alla sosta del velivolo, e 4 m di fascia riservata ai mezzi che effettuano le operazioni di de-icing tutto intorno all'aeromobile.

- *“The de-icing/anti-icing pads should be provided with suitable scope to ensure satisfactory drainage of the area, to permit collection of all excess de-icing/anti-icing fluid running off an aeroplane and not to hinder the movement of aircraft on or off the pad.”*

Poiché le operazioni vengono attualmente eseguite nelle aree di sosta, il liquido de-icing viene smaltito insieme alle acque meteoriche e, una volta passato attraverso il separatore di idrocarburi, convogliato nel Torrente Stura. Con il progetto di una piazzola adibita alle operazioni di de-icing, il liquido verrà invece raccolto separatamente e smaltito nella rete fognaria.

- *“The de-icing/anti-icing pad should be capable of withstanding the traffic of the aircraft it is intended to serve.”*

Per quanto riguarda l'effetto dei volumi di traffico e l'entità dei flussi di decollo, la pavimentazione verrà progettata per sopportare il carico degli aeromobili che ne faranno uso (v. studio strutturale).

- *“The safety objective of the clearance distances on a de-icing/anti-icing pad is to provide safe separation between an aircraft using the stand and any adjacent building, aircraft on another stand and other objects.”*

Nel caso in cui la piazzola venga costruita a fianco di un'area di sosta, o a fianco di ostacoli fissi o mobili, vanno garantiti, come mostra la Tabella 6, 4,5 m intorno all'aeromobile, e non solamente 3,8 m; tuttavia, tale ipotesi viene per il momento scartata.

CODE LETTER	CLEARANCE [m]
A	3,8
B	3,8
C	4,5
D	7,5
E	7,5
F	7,5

Tabella 6: separazioni minime per piazzole di sosta

- “If the pad layout is such as to include bypass configuration, the minimum separation distances specified in Table D-1 (Figura 12), column (13) should be provided. Where the de-icing/anti-icing facility is located adjoining a regular taxiway, the taxiway minimum separation distance specified in Table D-1 (Figura 12), column (11) should be provided.”

La Figura 11 mostra una classica configurazione a by-pass, mentre la Figura 12 le minime distanze di separazione richieste.

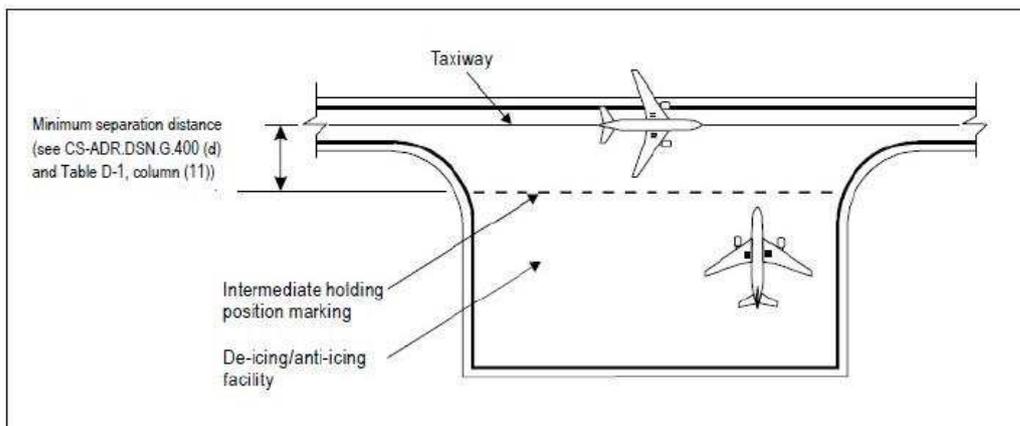


Figura 11: minime distanze di separazione per piazzole de-icing

Code letter	Distance between taxiway centre line and runway centre line (metres)								Taxiway centre line to taxiway centre line (metres)	Taxiway, other than aircraft stand taxilane, centre line to object (metres)	Aircraft stand taxilane centre line to aircraft stand taxilane centre line (metres)	Aircraft stand taxilane centre line to object (metres)
	Instrument runways Code number				Non-instrument runways Code number							
	1	2	3	4	1	2	3	4				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
A	77.5	77.5	—	—	37.5	47.5	—	—	23	15.5	19.5	12
B	82	82	152	—	42	52	87	—	32	20	28.5	16.5
C	88	88	158	158	48	58	93	93	44	26	40.5	22.5
D	—	—	166	166	—	—	101	101	63	37	59.5	33.5
E	—	—	172.5	172.5	—	—	107.5	107.5	76	43.5	72.5	40
F	—	—	180	180	—	—	115	115	91	51	87.5	47.5

Note 1: The separation distances shown in columns (2) to (9) represent ordinary combinations of runways and taxiways.

Note 2: The distances in columns (2) to (9) do not guarantee sufficient clearance behind a holding aeroplane to permit the passing of another aeroplane on a parallel taxiway.

Figura 12: minime distanze di separazione per taxiway

Nella presente analisi verrà valutato il posizionamento della piazzola e, di conseguenza, se adottare una configurazione a bypass o meno. In caso venisse adottata tale configurazione, le vie di rullaggio a servizio della piazzola possono essere trattate come taxilane. È necessario, quindi, mantenere le distanze indicate in Figura 12 nel riquadro rosso, a seconda della classe di aerei che possono transitare nella taxiway adiacente alla piazzola de-icing. Relativamente alle vie di accesso alla piazzola, invece, non devono essere presenti ostacoli ad una distanza inferiore a 22,5 m dall'asse della taxilane, come citato dalla normativa e visibile nella colonna 13 della Figura 12 nel riquadro verde.

In caso non venisse adottata la configurazione by-pass, invece, risulta necessario permettere agli aeromobili che non necessitano di effettuare l'operazione di de-icing di procedere comunque al decollo, evitando di aspettare che l'aeromobile precedente finisca il trattamento. Sempre in funzione del posizionamento scelto, verrà stabilito se necessario installare delle barriere anti jet-blast o meno.

3.2.3 FORMA DELLA PIAZZOLA DE-ICING

Le norme non specificano alcuna informazione, invece, circa la forma della piazzola, che può essere quindi scelta arbitrariamente, rispettando chiaramente i vincoli sulla dimensione di lunghezza e larghezza. Le piazzole de-icing in Europa hanno prevalentemente forma rettangolare, ma ci sono alcuni casi di forme più elaborate, come il caso dell'Aeroporto di Praga, dove la piazzola ha forma ottagonale. Nel caso dell'Aeroporto di Torino sono state formulate tre principali ipotesi: forma rettangolare, forma ellittica e forma ottagonale irregolare.

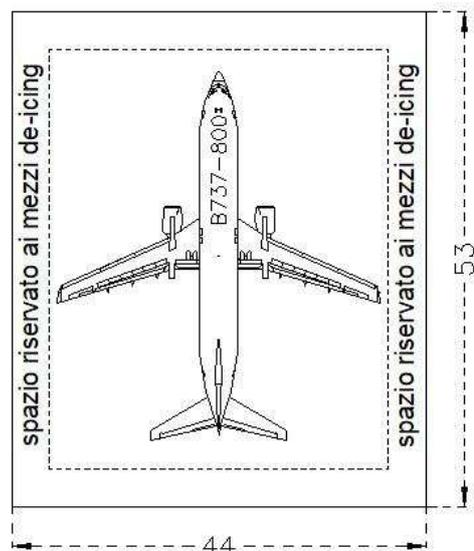


Figura 13: forma rettangolare piazzola de-icing

La forma rettangolare, mostrata in Figura 13, è la più classica e utilizzata. Da come si può osservare le dimensioni definitive sono 53 m in lunghezza e 44 m in larghezza. L'area della superficie totale della piazzola è di 2332 m².

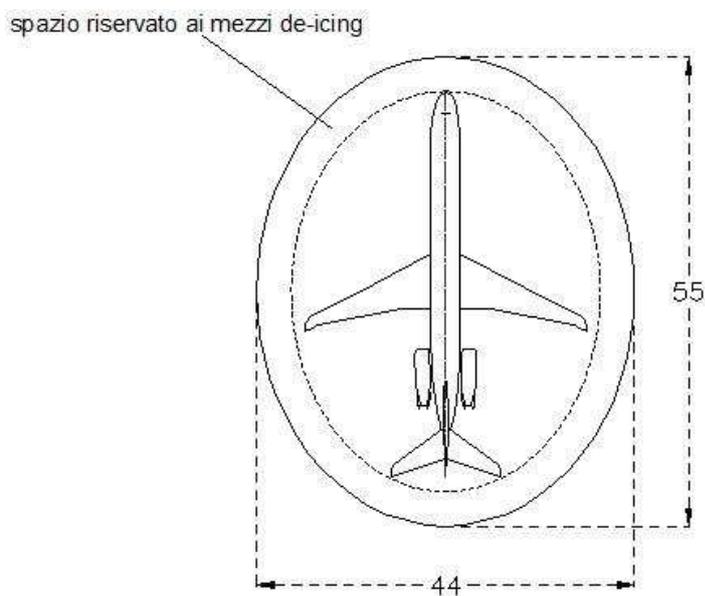


Figura 14: forma ellittica piazzola de-icing

Se si decidesse di utilizzare la forma ellittica, mostrata in Figura 14, bisogna garantire una lunghezza maggiore di 53 m, in quanto la parte interna della piazzola deve accomodare la coda dell'aereo più lungo, in questo caso l'MD-80. Le dimensioni degli assi sono 55 m e 44 m, mentre la superficie totale risulta essere di 1901 m².

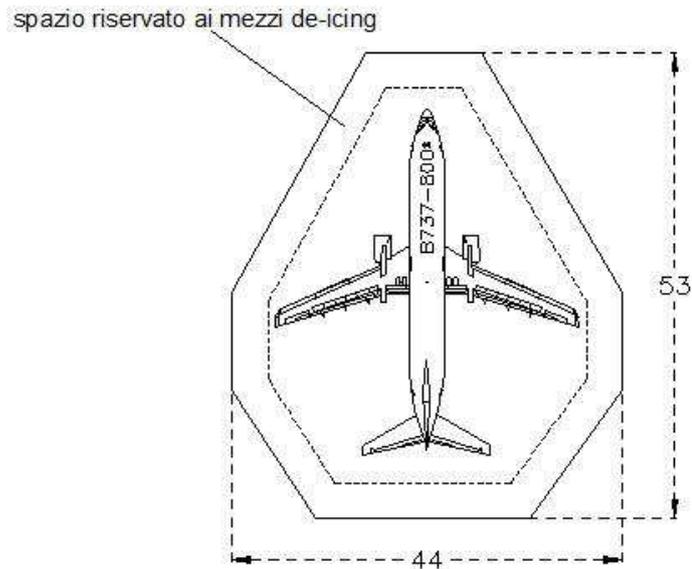


Figura 15: forma ottagonale piazzola de-icing

La forma ottagonale irregolare, mostrata in Figura 15, possiede dimensioni massime di lunghezza e larghezza pari a quelle della piazzola rettangolare. Permette, tuttavia, di risparmiare sulla superficie totale della pavimentazione: questa risulta essere, infatti, 1766 m².

Come ipotesi preliminare verrà utilizzata la forma rettangolare. In funzione della posizione scelta verrà deciso successivamente se modificarla per risparmiare in termini costruttivi, in quanto la forma che richiede più superficie da pavimentare risulta essere proprio quella rettangolare.

3.2.4 ILLUMINAZIONE DELLA PIAZZOLA DE-ICING

Un problema da non trascurare è quello relativo all'illuminazione della piazzola. A tal proposito viene consultato il regolamento normativo dell'EASA "Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design" per quanto riguarda i criteri di illuminazione a cui la piazzola deve attenersi. Le piazzole de-icing vengono trattate, dal punto di vista normativo e relativamente all'illuminazione, come aree di sosta aeromobili.

CS ADR-DSN.M.750 Apron floodlighting	
(a)	The purpose of apron floodlighting is to facilitate safe operations on an apron, on a de-icing/anti-icing facility, and on a designated isolated aircraft parking position intended to be used at night.
(b)	Applicability: Apron floodlighting should be provided on an apron, as necessary on a de-icing/anti-icing facility, and on a designated isolated aircraft parking position intended to be used at night. Aprons primarily used for recreational flying need not be illuminated.
(c)	Location: Apron floodlights should be located so as to provide adequate illumination on all apron service areas, with a minimum of glare to pilots of aircraft in flight and on the ground, aerodrome and apron controllers, and personnel on the apron. The arrangement and aiming of floodlights should be such that an aircraft stand receives light from two or more directions to minimise shadows.

Figura 16: criteri di illuminazione piazzola de-icing

Riassumendo i contenuti di Figura 16, è necessario prevedere un'adeguata illuminazione, cercando di illuminare l'aeromobile per almeno due delle quattro direzioni ed evitando di abbagliare il pilota. Si specifica che i mezzi adibiti alle operazioni di de-icing sono provvisti di luci per illuminare l'aereo; è preferibile, tuttavia, che essi lavorino con l'aeromobile già illuminato, in quanto vi sarebbero meno rischi di collisione. Vengono presentate a questo punto alcune soluzioni che sono state adottate in Europa per l'illuminazione della piazzola de-icing, mediante torri-faro.

AEROPORTO DI PRAGA (PRG)

Presso l'Aeroporto di Praga, l'illuminazione è garantita da quattro torri faro, individuate in Figura 17 da cerchi di colore rosso.

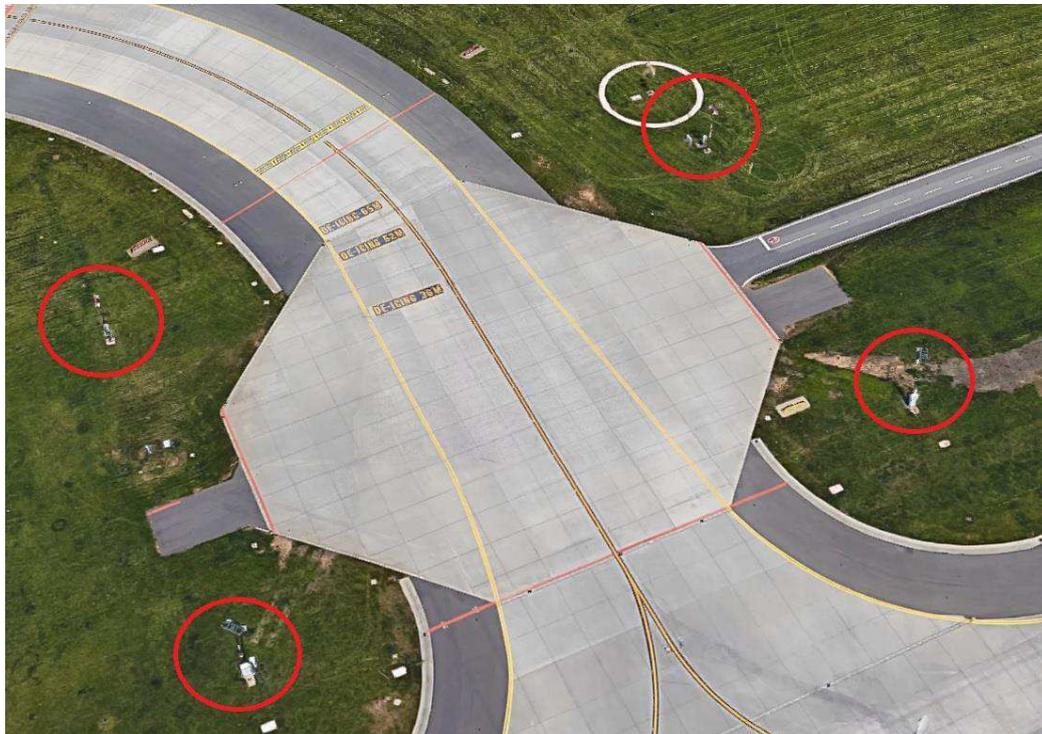


Figura 17: illuminazione piazzola de-icing a Praga, vista dall'alto

AEROPORTO DI MONACO DI BAVIERA (MUC)

Presso l'Aeroporto di Monaco, l'illuminazione è garantita da due torri faro, una per lato della piazzola (Figura 18).



Figura 18: illuminazione piazzola de-icing a Monaco di Baviera

AEROPORTO DI FRANCOFORTE (FRA)

Presso l'Aeroporto di Francoforte, l'illuminazione è garantita da sei torri faro, tre per lato della piazzola (Figura 19).



Figura 19: illuminazione piazzola de-icing a Francoforte

Nei casi visti in precedenza, dunque, l'illuminazione è indirizzata verso i due lati principali dell'aeromobile.

AEROPORTO DI MILANO LINATE (LIN)

Presso l'Aeroporto di Milano Linate l'illuminazione è garantita da due torri faro, le cui direzioni non interessano però i lati principali dell'aeromobile, ma la punta e il lato sinistro, come mostrato in Figura 20.



Figura 20: illuminazione piazzola de-icing a Milano Linate

3.2.5 INTERAZIONE CON LE SUPERFICI DI DELIMITAZIONE DEGLI OSTACOLI

L'ulteriore problema da considerare, collegato al precedente, riguarda l'interazione con le superfici di delimitazione degli ostacoli. Al fine di garantire la sicurezza delle operazioni aeroportuali, è infatti necessario assicurare che lo spazio posto a ridosso dell'aeroporto, e in particolare della sua pista, sia privo di ostacoli: questi, infatti, possono avere una determinata altezza massima in modo da non sfiorare tali superfici. Le superfici di delimitazione degli ostacoli sono di otto diversi tipi:

- superficie di transizione (transitional surface);
- superficie di transizione interna (inner transitional surface);
- superficie di avvicinamento interna (inner approach surface);
- superficie di atterraggio mancato (balked landing surface);
- superficie di avvicinamento (approach surface);

- superficie di salita al decollo (take-off climb surface);
- superficie orizzontale interna (inner horizontal surface);
- superficie conica (conical surface).

Nelle seguenti immagini vengono disegnate qualitativamente le superfici soprastanti. La Figura 21 mostra le superfici in pianta, mentre Figura 22 e Figura 23 nelle sezioni AA e BB.

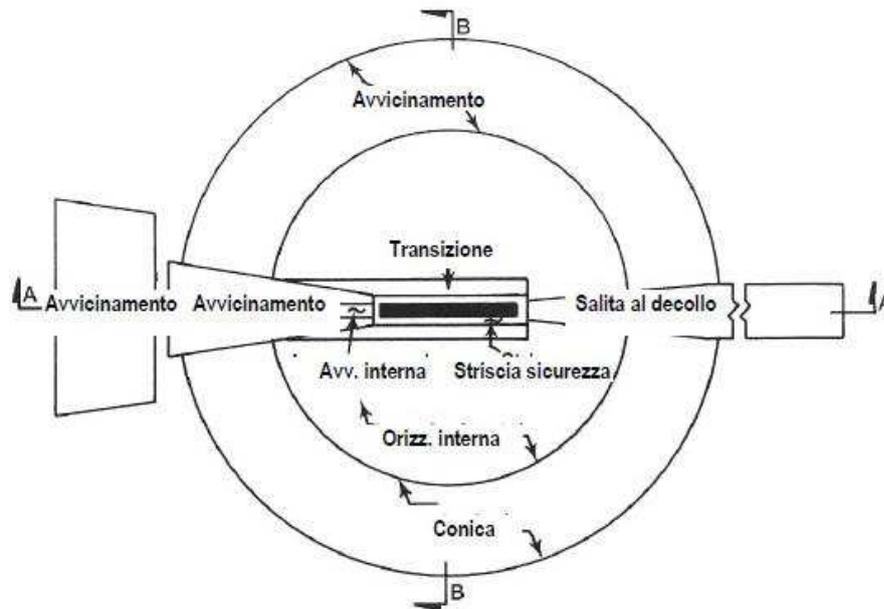


Figura 21: superfici di delimitazione ostacoli in pianta



Figura 22: superfici di delimitazione ostacoli, sezione AA

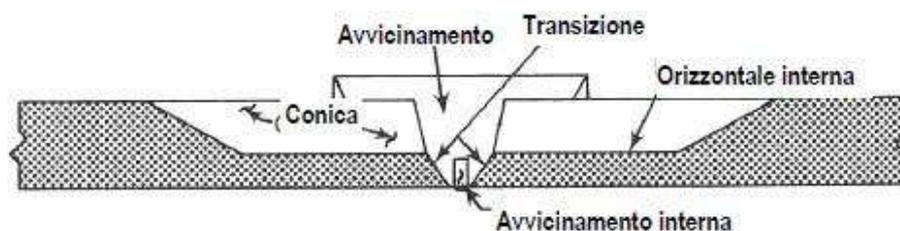


Figura 23: superfici di delimitazione ostacoli, sezione BB

Per la determinazione della posizione ottimale della piazzola de-icing sono state considerate solamente le superfici di avvicinamento e di transizione, in quanto le rimanenti, in base al luogo dove si è scelto di realizzare la piazzola, non porterebbero a problemi di sfioramento. Infatti, gli atterraggi ed i decolli

avvengono quasi esclusivamente utilizzando la pista 36 e non la 18, e quindi da sud verso nord.

3.2.5.1 SUPERFICIE DI TRANSIZIONE (TRANSITIONAL SURFACE)

La superficie di transizione si sviluppa in direzione verticale ed esterna a partire dal bordo laterale della Strip della runway, con una pendenza del 14,3%, fino alla superficie orizzontale interna. Lo sfioramento della superficie di transizione da parte di ostacoli mobili non comporta problemi in quanto ciò avviene già normalmente lungo la taxiway Lima; ciò che non può verificarsi, invece, è lo sfioramento della superficie da parte di ostacoli fissi: bisognerà dunque tenere conto di ciò per il posizionamento delle torri faro.

3.2.5.2 SUPERFICIE DI AVVICINAMENTO (APPROACH SURFACE)

La superficie di avvicinamento, che a sua volta contiene la superficie di avvicinamento interna, consiste in una serie di piani inclinati con pendenze variabili. Tale superficie termina a 60 m di distanza dalla soglia di inizio pista, e la prima sezione ha una pendenza costante del 2% ed è lunga 3000 m. La superficie di avvicinamento non può essere sfiorata da alcun ostacolo fisso e mobile, e pone quindi delle limitazioni importanti sulla possibile locazione della piazzola: occorrerà, a tal proposito, individuare l'aeromobile con la coda più alta tra tutti gli aeromobili di classe C.

In Figura 24 vengono poste a confronto le quote della superficie di avvicinamento con le quote del terreno. I numeri in grigio rappresentano la quota terreno, mentre quelli blu la quota della superficie di avvicinamento.

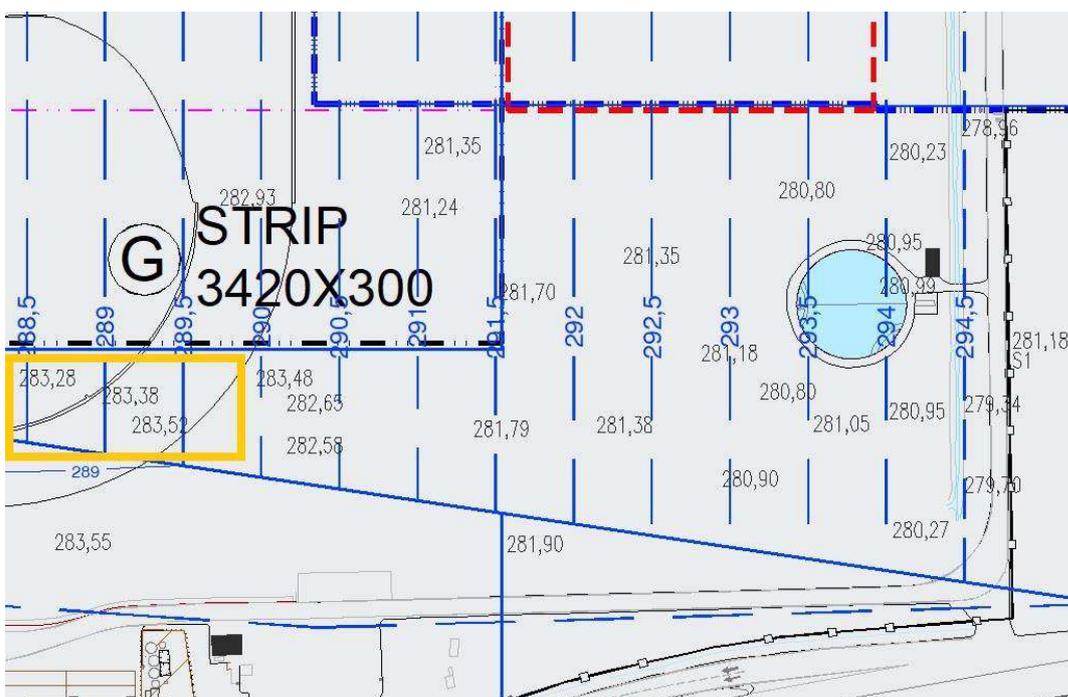


Figura 24: confronto tra superficie di avvicinamento e quota del terreno

Da come si può osservare in Figura 24, nei pressi del raccordo Golf (riquadro arancione) la quota del terreno differisce da quella della superficie di avvicinamento di soli 6/7 m. In tale area, infatti, è stata concessa una deroga all'Aeroporto di Torino, che consente ad alcuni velivoli di interferire momentaneamente con la superficie di avvicinamento, prima dell'ingresso nella Strip, ovvero l'area all'interno della quale l'aereo è già considerato in fase di decollo e quindi non più ritenuto un ostacolo.

Gli aeromobili più alti tra quelli che potranno utilizzare la piazzola de-icing per le operazioni risultano essere il Boeing 737-700 ed il Boeing 737-600, con un'altezza di coda pari a 12,57 m, da come si può constatare in Figura 25, riportata dal libretto ufficiale delle caratteristiche dei Boeing 737.

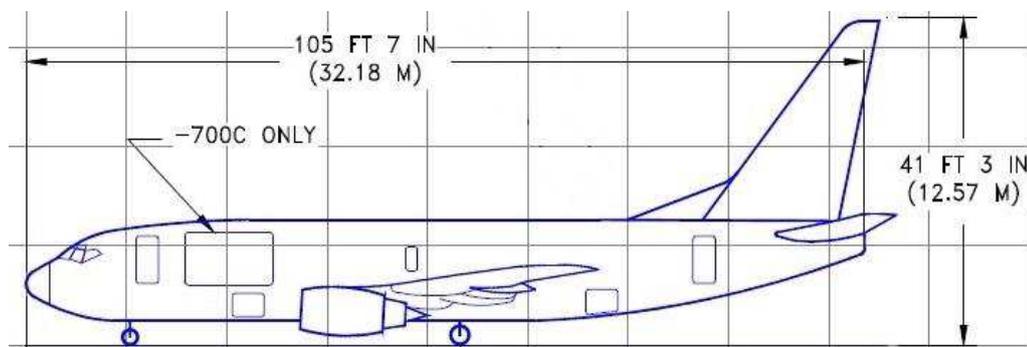


Figura 25: caratteristiche Boeing 737-700

Sono necessari, dunque, almeno 12,57 m di differenza tra il piano della pavimentazione e la quota della superficie di avvicinamento. È consigliabile aumentare tale distanza a 13 m, in quanto i mezzi de-icing solitamente operano ad altezze leggermente superiori a quelle della coda dell'aereo.

Analizzando nuovamente l'immagine in cui vengono confrontate le quote di piano campagna e superficie di avvicinamento, si può notare come i 13 m di spazio richiesto non vengano rispettati per la totalità dell'area di ipotetica realizzazione, fatta eccezione per la zona in prossimità del separatore di idrocarburi, individuata in Figura 26 da un rettangolo arancione.

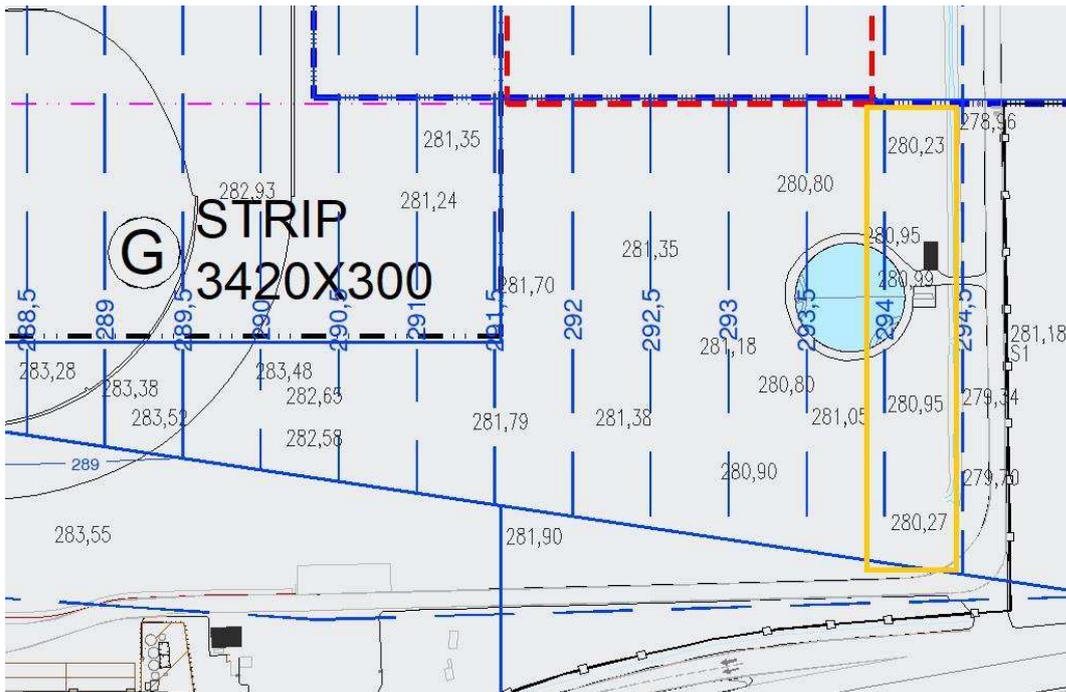


Figura 26: area di ipotetica realizzazione piazzola de-icing

Se si volesse realizzare la piazzola nella zona in cui vi è possibile interazione con la superficie di avvicinamento, mantenendo le quote di terreno attuali, l'area individuata dal rettangolo è l'unica in cui vi è la possibilità di realizzare la piazzola evitando di dover richiedere eventuali deroghe all'ente competente, come già avviene lungo un breve tratto del raccordo Golf.

Illustrando le varie ipotesi di posizionamento, verrà studiata di volta in volta l'interazione con la superficie di avvicinamento ed eventualmente valutato come si possa superare il problema.

3.2.6 DIMENSIONI DELLE TAXIWAY E DISTANZE MINIME DI SICUREZZA

Gli ultimi aspetti da valutare, prima di presentare le ipotesi effettuate, sono le dimensioni da garantire per le eventuali vie di rullaggio e le distanze minime di sicurezza da osservare. Come già specificato nell'introduzione, non verranno progettati geometricamente tutti i raccordi tra i vari tratti per tutte le ipotesi: ciò avverrà solamente per la soluzione scelta, nel corso dell'analisi geometrica. È opportuno segnalare, a proposito, che non è possibile garantire l'assoluta fattibilità delle ipotesi presentate successivamente, a causa della mancata progettazione dei tratti di raccordo, che potrebbero compromettere l'effettiva realizzazione dell'opera. Nei tratti di taxiway curvi, infatti, come evidenziato in Figura 27, il pilota procede mantenendo la cabina di pilotaggio sulla linea centrale della via; il carrello principale dell'aereo non segue la traiettoria della ruota anteriore, e quindi la linea centrale, ma è separato da questa da una distanza denominata "track-in". Per garantire la sicurezza delle operazioni, è

necessario garantire un margine tra il bordo esterno della pavimentazione e il carrello principale.

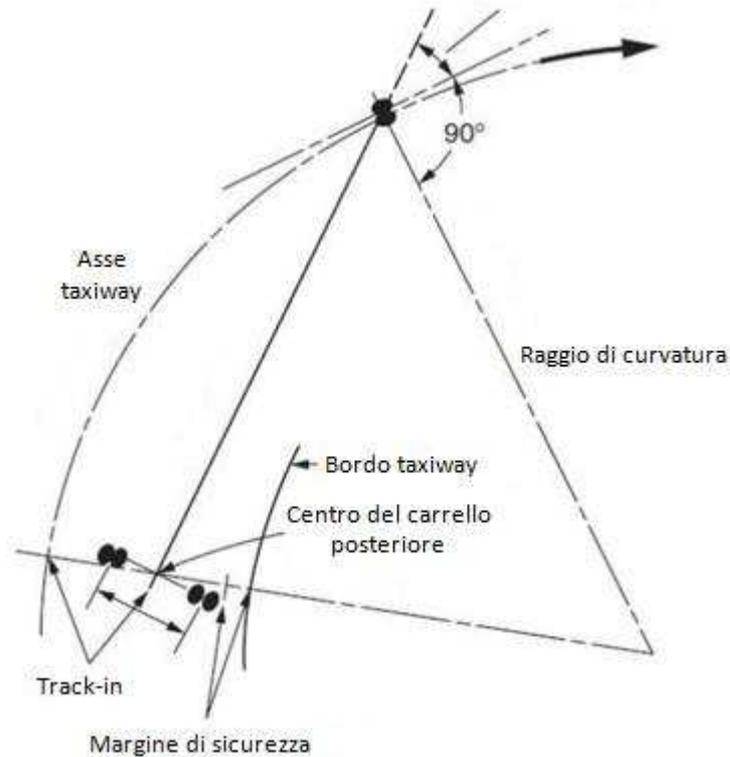


Figura 27: traiettoria curva di un aeromobile

In caso non si riuscisse a garantire i margini di sicurezza richiesti dagli aerei della flotta, non è possibile realizzare il raccordo. Le ipotesi di cui non si può assicurare la realizzazione verranno identificate con "fattibilità da verificare". È utile, comunque, fornire già i dati di normativa per quanto riguarda la larghezza delle taxiway e la distanza minima da mantenere tra l'asse delle taxiway e gli ostacoli.

Consultando il testo "Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design", nel capitolo D, a proposito della larghezza delle taxiway viene riportato quanto segue:

- "The design of a taxiway should be such that, when the cockpit of the aeroplane for which the taxiway is intended, remains over the taxiway centre line markings, the clearance distance between the outer main wheel of the aeroplane and the edge of the taxiway should be not less than that given by the following tabulation (Figura 28):"

	Outer Main Gear Wheel Span (OMGWS)			
	Up to but not including 4.5 m	4.5 m up to but not including 6 m	6 m up to but not including 9 m	9 m up to but not including 15 m
Clearance	1.50 m	2.25 m	3 m ^{a,b} or 4 m ^c	4 m

^a on straight portions.
^b on curved portions if the taxiway is intended to be used by aeroplanes with a wheel base of less than 18 m.
^c on curved portions if the taxiway is intended to be used by aeroplanes with a wheel base equal to or greater than 18 m.

Note: Wheel base means the distance from the nose gear to the geometric centre of the main gear.

Figura 28: minime distanze di sicurezza delle taxiway

Essendo la piazzola de-icing in grado di ospitare aeromobili fino a classe ICAO C, occorre verificare all'interno di quale categoria si ricade nella tabella soprastante. Consultando la Figura 29, tratta da ICAO, si può constatare come gli aeromobili di classe C presentino una distanza tra le estremità delle ruote del carrello posteriore (OMGWS) di meno di 9 m.

Code letter	Wingspan	Outer main gear wheel span	Typical aeroplane
A	< 15 m	< 4.5 m	PIPER PA-31/CESSNA 404 Titan
B	15 m but < 24 m	4.5 m but < 6 m	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-200/DE HAVILLAND CANADA DHC-6
C	24 m but < 36 m	6 m but < 9 m	BOEING 737-700/AIRBUS A-320/EMBRAER ERJ 190-100
D	36 m but < 52 m	9 m but < 14 m	B767/AIRBUS A-310
E	52 m but < 65 m	9 m but < 14 m	B777/B787 Series/A330
F	65 m but < 80 m	14 m but < 16 m	BOEING 747-8/AIRBUS A-380-800

Figura 29: codici di riferimento ICAO

Di conseguenza, si stabilisce che le parti rettilinee delle taxiway a supporto della piazzola de-icing devono garantire almeno 3 m per lato dalle estremità delle ruote del carrello posteriore, mentre le parti curvilinee almeno 4 m, in quanto l'interasse del McDonnell Douglas MD80, come mostrato in Figura 30, risulta essere di 22,05 m, e quindi maggiore di 18 m.

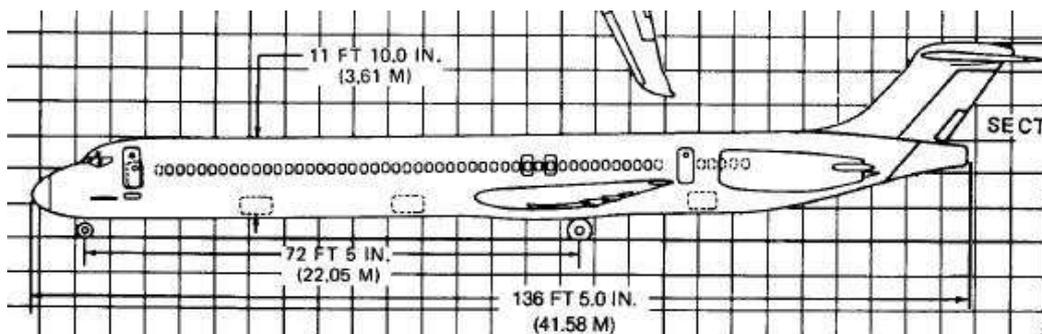


Figura 30: interasse "MD-80"

In conclusione, le taxiway vengono progettate preliminarmente di larghezza di 15 m per le parti rettilinee e di 17 m per le parti curve.

- “A straight portion of a taxiway should have a width of not less than that given by the following tabulation (Figura 31):”

	Outer Main Gear Wheel Span (OMGWS)			
	Up to but not including 4.5 m	4.5 m up to but not including 6 m	6 m up to but not including 9 m	9 m up to but not including 15 m
Taxiway width	7.5 m	10.5 m	15 m	23 m

Figura 31: larghezze minimi taxiway rettilinee

A riconferma di quanto già stabilito, in questa sezione delle normative viene riportato che le parti rettilinee delle taxiway devono essere di larghezza pari ad almeno 15 m.

- “The safety objective of minimum taxi separation distances is to allow safe use of taxiways and aircraft stand taxilanes to prevent possible collision with other aeroplanes operating on adjacent runways or taxiways, or collision with adjacent objects. The separation distance between the centre line of a taxiway and the centre line of a runway, the centre line of a parallel taxiway or an object should not be less than the appropriate dimension specified in Table D-1 (Figura 32).”

Code letter	Distance between taxiway centre line and runway centre line (metres)								Taxiway centre line to taxiway centre line (metres)	Taxiway, other than aircraft stand taxilane, centre line to object (metres)	Aircraft stand taxilane centre line to aircraft stand taxilane centre line (metres)	Aircraft stand taxilane centre line to object (metres)
	Instrument runways Code number				Non-instrument runways Code number							
	1	2	3	4	1	2	3	4				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
A	77.5	77.5	—	—	37.5	47.5	—	—	23	15.5	19.5	12
B	82	82	152	—	42	52	87	—	32	20	28.5	16.5
C	88	88	158	158	48	58	93	93	44	26	40.5	22.5
D	—	—	166	166	—	—	101	101	63	37	59.5	33.5
E	—	—	172.5	172.5	—	—	107.5	107.5	76	43.5	72.5	40
F	—	—	180	180	—	—	115	115	91	51	87.5	47.5

Note 1: The separation distances shown in columns (2) to (9) represent ordinary combinations of runways and taxiways.

Note 2: The distances in columns (2) to (9) do not guarantee sufficient clearance behind a holding aeroplane to permit the passing of another aeroplane on a parallel taxiway.

Figura 32: distanze di separazione minime taxiway

Di conseguenza, le taxiway a servizio della piazzola de-icing devono essere contenute in una strip di 26 m a partire dall'asse della taxiway stessa: all'interno di essa non possono essere presenti ostacoli fissi e mobili.

- *“The safety objective of limiting the longitudinal taxiway slope is to enable stabilised safe use of taxiway by an aircraft. The longitudinal slope of a taxiway should not exceed 1.5% where the code letter is C, D, E or F and 3% where the code letter is A or B. The safety objective of limiting the longitudinal taxiway slope changes is to avoid damage of aircraft and to enable safe use of taxiway by an aircraft. Where slope changes on a taxiway cannot be avoided, the transition from one slope to another slope should be accomplished by a curved surface with a rate of change not exceeding 1% per 30 m (minimum radius of curvature of 3 000 m) where the code letter is C, D, E, or F and 1% per 25 m (minimum radius of curvature of 2 500 m) where the code letter is A or B.”*

In caso siano da prevedere taxiway in salita o in discesa, bisogna progettarle in modo che non eccedano la pendenza massima del 1,5% e che i cambi di pendenza non eccedano l'1% ogni 30 m.

- *“The safety objective of minimum taxiway sight distance values is to achieve the necessary visibility to enable safe use of taxiway by an aircraft. Where a change in slope on a taxiway cannot be avoided, the change should be such that, from any point, 3 m above the taxiway, it should be possible to see the whole surface of the taxiway for a distance of at least 300 m from that point where the code letter is C, D, E, or F; 2 m above the taxiway, it should be possible to see the whole surface of the taxiway for a distance of at least 200 m from that point where the code letter is B; 1.5 m above the taxiway, it should be possible to see the whole surface of the taxiway for a distance of at least 150 m from that point where the code letter is A.”*

È necessario, dunque, in caso siano da prevedere taxiway in salita o discesa, che da 3 m sopra la taxiway il pilota possa vedere tutta la superficie della restante taxiway per i successivi 300 m.

- *“The safety objective of taxiway transverse slopes is to promote the most rapid drainage of water from the taxiway. The transverse slopes of a taxiway should be sufficient to prevent the accumulation of water on the surface of the taxiway but should not exceed 1.5% where the code letter is C, D, E, or F and 2% where the code letter is A or B.”*

La pendenza trasversale è necessaria per il drenaggio dell'acqua, ma non deve eccedere l'1,5%.

- *“The strength of a taxiway should be suitable for the aircraft that the taxiway is intended to serve. The surface of a taxiway should not have irregularities that cause damage to aeroplane structures. The surface of a paved taxiway should be so constructed or resurfaced as to provide suitable surface friction characteristics.”*

Per quanto riguarda l'effetto dei volumi di traffico e l'entità dei flussi di decollo, la pavimentazione viene progettata per sopportare il carico degli aeromobili che ne faranno uso (v. studio strutturale).

Vengono a questo punto presentate le varie ipotesi di realizzazione, i problemi inerenti ognuna di esse e i vantaggi e gli svantaggi che comporterebbero.

3.3 IPOTESI DI POSIZIONAMENTO DELLA PIAZZOLA DE-ICING

Lo studio del posizionamento della piazzola è un argomento molto delicato ed importante, in quanto, nel caso venisse realizzata una piazzola in un luogo ritenuto non funzionale, come ad esempio in una zona distante dalla pista di decollo, verrebbero meno parte dei vantaggi già discussi in precedenza. Occorre quindi valutare approfonditamente le alternative, tenendo conto chiaramente delle problematiche già analizzate, ovvero delle distanze minime di sicurezza per taxiway e piazzola, dell'interazione tra le superfici di delimitazione ostacoli e gli aeromobili, delle quote del terreno, della necessità di illuminazione nella piazzola.

Al fine di individuare le ipotesi per il posizionamento, è stato consultato un elaborato riguardante la realizzazione della piazzola de-icing presso l'Aeroporto di Torino, svolto da una società di consulenza architettonica e ingegneristica nel 2015. In tale studio, erano state valutate quattro diverse soluzioni per la realizzazione della piazzola; tre di esse, in particolare quelle identificate nella presente tesi con i numeri 1, 3 e 4, vengono riprese e rivalutate. La quarta, invece, comportando la rimozione dell'edificio di agibilità aeroportuale, non viene più considerata, in quanto risulterebbe difficile ricollocare tale edificio in una zona differente all'interno dell'aeroporto stesso.

Per ognuna delle soluzioni proposte in seguito viene, come già detto, verificata la fattibilità; inoltre, vengono analizzati i problemi e i vantaggi che comporterebbe, le conseguenze sull'agibilità dell'aeroporto e viene effettuata una stima qualitativa del costo associato alla realizzazione.

Nelle immagini che illustrano le varie ipotesi le infrastrutture esistenti sono indicate con linee nere, quelle di nuova costruzione con linee blu, e le relative strip, ovvero le aree in cui non devono essere presenti ostacoli, con linee rosse.

3.3.1 IPOTESI 1

La prima ipotesi che viene formulata viene presentata in Figura 33; si tratta di una soluzione che era già stata proposta nello studio citato in precedenza. Secondo questa ipotesi non è necessario demolire alcun manufatto, ma è necessario realizzare due taxiway tra raccordo Golf e piazzola e tra piazzola e pista, in aggiunta alla piazzola stessa.

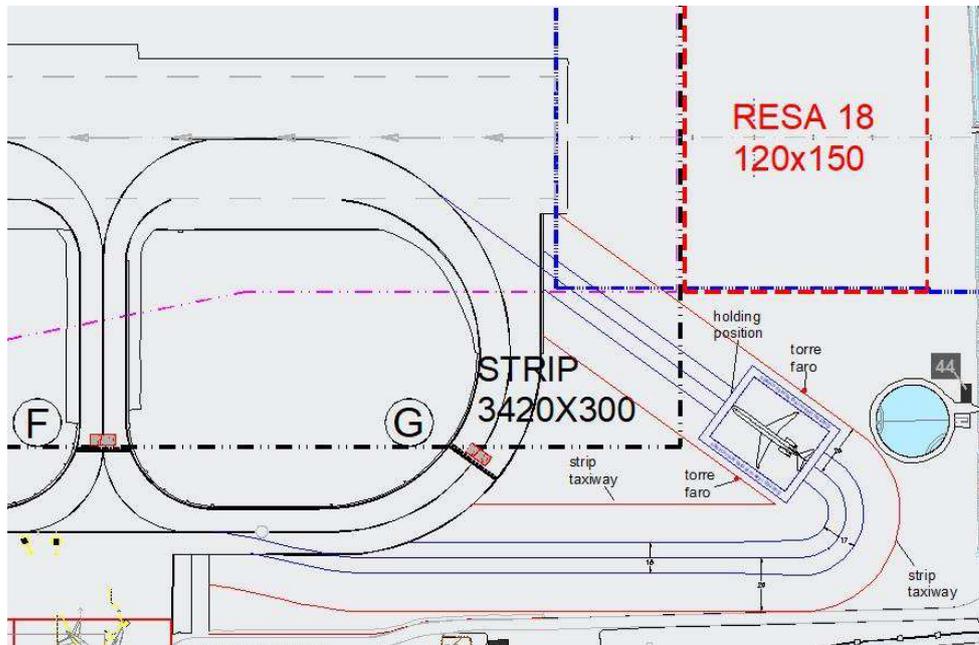


Figura 33: ipotesi numero 1, vista in pianta

Il problema che si pone riguarda l'interazione con la superficie di avvicinamento, che, mantenendo le quote attuali, verrebbe sforata dalla coda dell'aeromobile Boeing 737-700. Da come si può osservare in Figura 34, nella quale i numeri in grigio rappresentano le quote del terreno ed i numeri in blu le quote della superficie di avvicinamento, in quella posizione non vengono garantiti i 13 m necessari al fine di evitare lo sfioramento della superficie di approccio. Nel caso si volesse optare per questa soluzione, sarebbe necessario sbancare in quella posizione almeno 1,5 m di terreno, e realizzare la taxiway di accesso alla piazzola in pendenza in discesa (massimo 1,5%) e la taxiway di accesso alla pista di decollo in salita (massimo 1,5%), rispettando chiaramente i limiti di variazione di pendenza. Oltre che la fattibilità del raccordo curvo della prima taxiway, è da verificare quella della taxiway di collegamento piazzola-pista in quanto si hanno a disposizione tra i 100 e 150 m (in funzione del posizionamento esatto) tra la fine della piazzola e l'ingresso in pista di decollo, e le due quote differirebbero di 2,5 m circa. Inoltre, sarebbe comunque necessario chiedere una deroga per quanto riguarda parte della taxiway di accesso alla piazzola de-icing, in quanto la coda dell'aereo continuerebbe a sfiorare la superficie di avvicinamento.

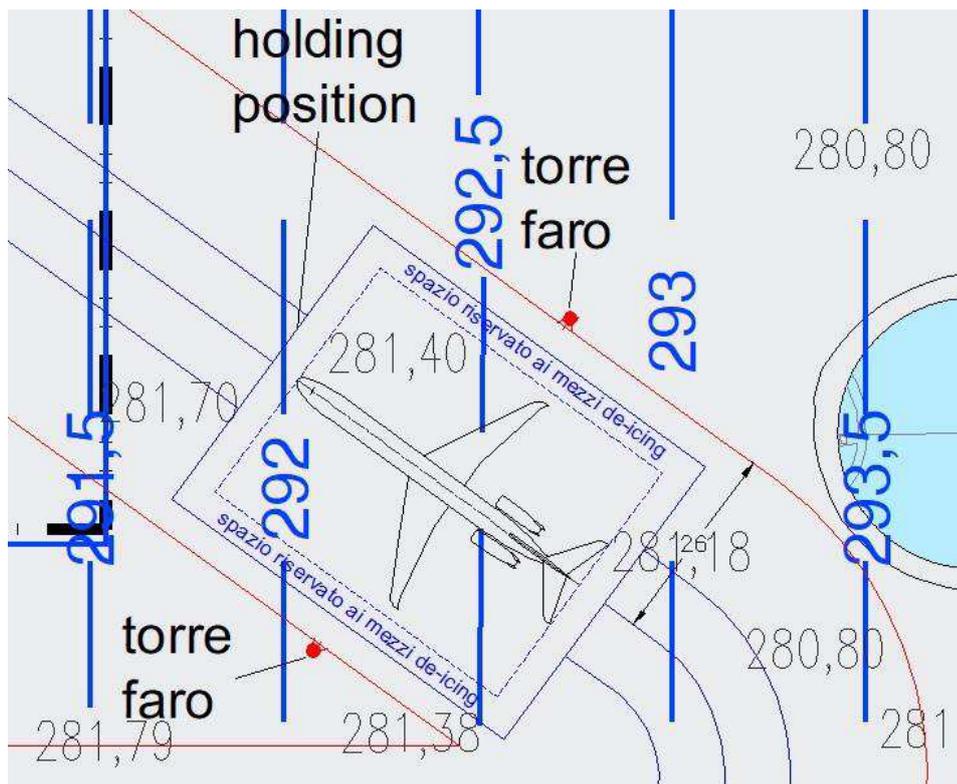


Figura 34: ipotesi numero 1, interazione con superficie di avvicinamento

Per quanto riguarda il posizionamento delle torri faro, questa soluzione non comporterebbe problemi, in quanto, abbassando la quota del terreno nei pressi della piazzola, si potrebbero realizzare due torri faro che illuminerebbero il lato sinistro e destro dell'aereo. Le due torri faro possono essere realizzate fino ad un'altezza di circa 12/13 m, per non sfiorare la superficie di avvicinamento. È da prevedere una holding position alla fine della piazzola de-icing, in modo da permettere agli aerei di entrare in pista in seguito all'operazione di de-icing. I costi di realizzazione risulterebbero alti, in quanto è necessario movimentare un gran quantitativo di terreno, realizzare la sovrastruttura delle due taxiway e della piazzola ed installare almeno due torri faro. In questa ipotesi, tuttavia, non è da prevedere la rimozione di alcun tipo di manufatto. Vengono sintetizzate in Tabella 7 le principali caratteristiche associate alla realizzazione dell'opera.

FATTIBILITA'	RIMOZIONE MANUFATTI	TORRI FARO	STIMA ECONOMICA	CONSEGUENZA SU AGIBILITA' AEROPORTO	SFORATURA
DA VERIFICARE	NO	2	MEDIO-ALTA	NO	SI

Tabella 7: caratteristiche ipotesi numero 1

3.3.2 IPOTESI 2

Una soluzione simile alla precedente, non prevista nello studio già citato, viene proposta come seconda ipotesi. La realizzazione delle taxiway è pressoché

identica, ma la piazzola viene anticipata a prima del raccordo per la pista, come mostrato in Figura 35.

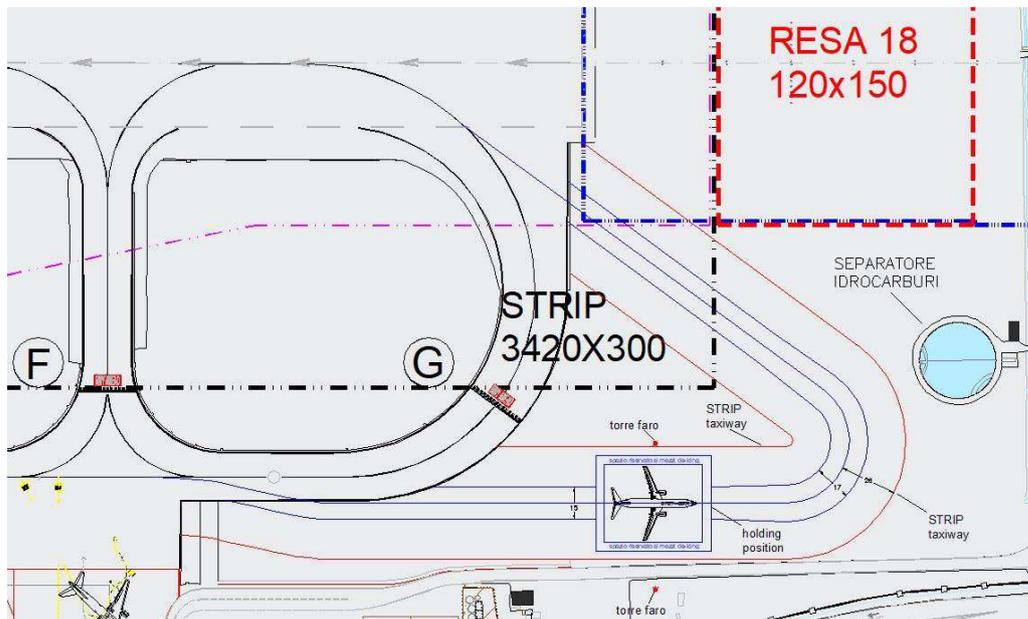


Figura 35: ipotesi numero 2, vista in pianta

Realizzando la piazzola in questa posizione è possibile evitare lo sfioramento della superficie di avvicinamento con la coda dell'aeromobile, come si può osservare in Figura 36.

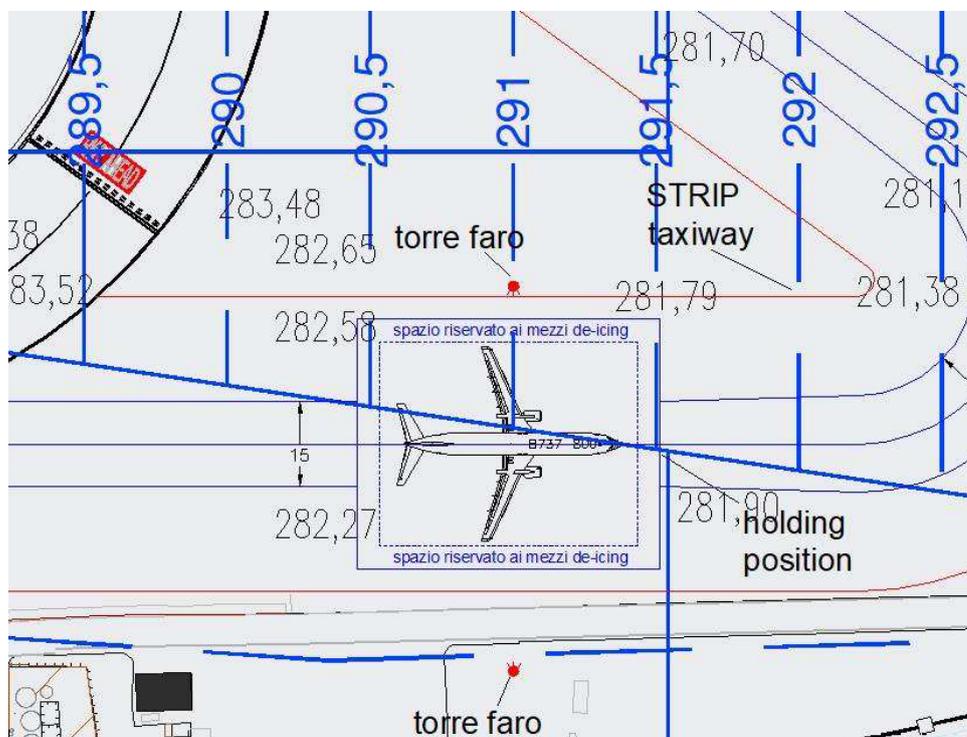


Figura 36: ipotesi numero 2, interazione con superficie di avvicinamento

Il centro della coda dell'aeromobile, ovvero il suo punto più critico in termini di altezza, non è interessato da interazione con la superficie di avvicinamento, mentre le restanti parti, avendo altezze ridotte, non la sforerebbero. Per evitare completamente l'interazione con le superfici di delimitazione ostacoli si potrebbe pensare, inoltre, di prevedere una holding position al termine della piazzola: in questo modo l'aereo, dopo il suo superamento concesso dalla torre di controllo, non verrebbe più considerato un ostacolo in quanto pronto per l'operazione di decollo.

Mantenendo il margine di sicurezza di 26 m tra l'asse della taxiway e la strada perimetrale non è da prevedere lo stop al passaggio degli eventuali veicoli. È possibile, inoltre, distanziare adeguatamente la piazzola dal raccordo Golf, in modo da permettere il passaggio degli aerei sul raccordo stesso contemporaneamente alle operazioni di de-icing. Per quanto riguarda l'illuminazione, si potrebbero installare due torri faro ai lati est ed ovest della piazzola. La prima, per evitare sfioramento della superficie di avvicinamento, può raggiungere un'altezza massima di circa 8 m, mentre la seconda, per evitare sfioramento della superficie di transizione, può raggiungere un'altezza massima di circa 11 m; l'illuminazione dell'aeromobile, di conseguenza, non sarebbe ottimale, in quanto sarebbero richieste torri faro leggermente più alte per garantire illuminazione dell'aereo nella sua totalità.

I costi di realizzazione risulterebbero cospicui ma non è da prevedere lo spostamento di alcun manufatto esistente. È da verificare, come nell'ipotesi precedente, la fattibilità del raccordo curvo.

Vengono quindi sintetizzate in Tabella 8 le caratteristiche di questo tipo di soluzione.

FATTIBILITA'	RIMOZIONE MANUFATTI	TORRI FARO	STIMA ECONOMICA	CONSEGUENZA SU AGIBILITA' AEROPORTO	SFORATURA
DA VERIFICARE	NO	2	MEDIO-ALTA	NO	NO

Tabella 8: caratteristiche ipotesi numero 2

3.3.3 IPOTESI 3

L'ipotesi numero 3 (Figura 37) era già stata proposta e discussa nello studio citato precedentemente. Nel luogo di realizzazione della presente soluzione, come già osservato, sono già disponibili i 13 m di distanza tra terreno e superficie di avvicinamento. Nell'area della piazzola potrebbe non essere necessario rimuovere terreno. È opportuno, tuttavia, chiedere deroga all'ente competente per quanto riguarda la taxiway di accesso alla piazzola, che in ogni caso andrebbe realizzata in discesa e, almeno in parte, interferirebbe con la superficie di

avvicinamento. Occorre, inoltre, prevedere una holding position al termine della piazzola, che permette agli aeromobili che terminano l'operazione di de-icing di entrare in pista. Non dovrebbero, infine, insorgere problemi nel rispetto dei margini di sicurezza per quanto riguarda i due raccordi curvi delle taxiway.

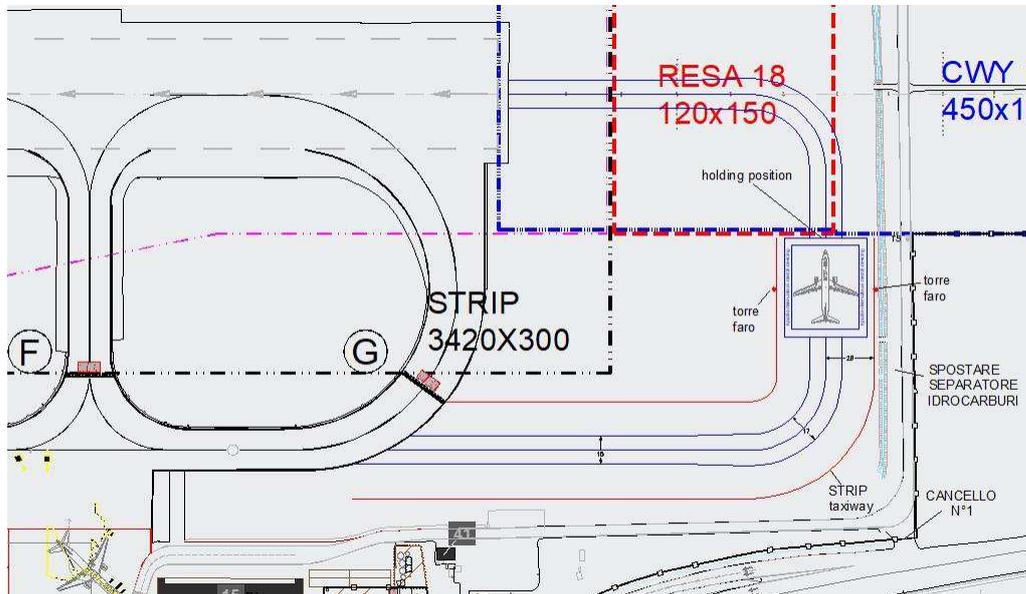


Figura 37: ipotesi numero 3, vista in pianta

Secondo il progetto della presente soluzione, mostrato in dettaglio in Figura 38, il separatore per gli idrocarburi andrebbe rilocato in una zona apposita. Le torri faro verrebbero collocate ai lati dell'aeromobile: quella di destra può raggiungere un'altezza massima di 14 m, mentre quella di sinistra di 12 m, per evitare sfioramento con la superficie di avvicinamento. I costi sarebbero elevati, soprattutto in virtù della rilocazione del separatore di idrocarburi e della superficie cospicua di sovrastruttura da realizzare; tuttavia, questa soluzione non porta a conseguenze sull'agibilità aeroportuale.

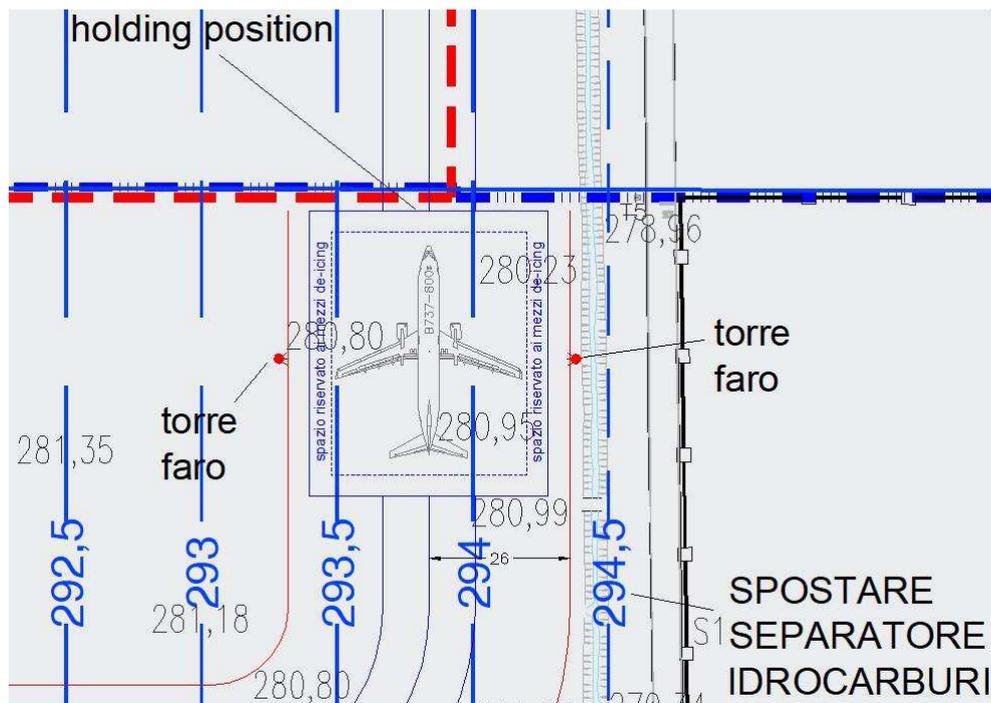


Figura 38: ipotesi numero 3, interazione con superficie di avvicinamento

Vengono sintetizzate in Tabella 9 le caratteristiche associate alla realizzazione di questa ipotesi.

FATTIBILITA'	RIMOZIONE MANUFATTI	TORRI FARO	STIMA ECONOMICA	CONSEGUENZA SU AGIBILITA' AEROPORTO	SFORATURA
SI	SI	2	ALTA	NO	SI

Tabella 9: caratteristiche ipotesi numero 3

3.3.4 IPOTESI 4

La quarta ipotesi, anch'essa già analizzata nello studio precedente, è una soluzione a costo "zero": consiste nella rimozione di aree di sosta (parcheggi numero 204, 203, 118, 117 e 116) e nell'utilizzo di tale area per le operazioni di de-icing. Non è necessaria la costruzione della sovrastruttura, in quanto chiaramente già presente: la piazzola de-icing, però, sarebbe costituita da una pavimentazione per la maggior parte in calcestruzzo e, per una piccola parte, in conglomerato bituminoso. L'unica piccola parte completamente da pavimentare è posizionata prima del raccordo Golf ed è indicata in Figura 39 e Figura 40. In questo caso bisogna far riferimento ai requisiti EASA relativi alle distanze di sicurezza da garantire in caso di configurazione "by-pass", già introdotti nella Figura 11 e Figura 12.

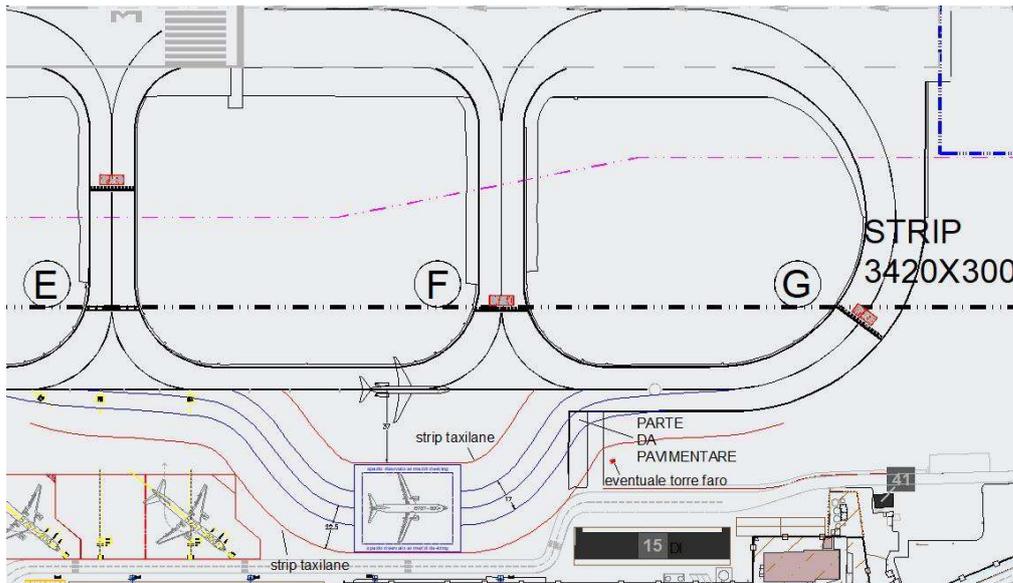


Figura 39: ipotesi numero 4, vista in pianta

Attualmente la distanza tra l'asse della taxiway Lima ed il bordo esterno dei parcheggi è di 42,5 m, massima distanza ammissibile per passaggio di aeromobili di classe ICAO E secondo il "Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Aeroporti" dell'ENAC, nel quale viene riportata una tabella simile a quella già analizzata per le normative EASA. Facendo tuttavia riferimento a quest'ultime normative, viene richiesto che la distanza minima tra l'asse di una taxiway e qualsiasi oggetto sia di 26 m per aeromobili di classe C, 37 m per classe D, 43,5 m per classe E. Dato lo spazio richiesto dalla piazzola de-icing, si possono garantire al massimo 37 m di distanza tra l'asse della taxiway Lima e la strip della taxi-lane di accesso alla piazzola de-icing: durante le operazioni di de-icing, dunque, la taxiway Lima dovrà essere necessariamente declassata a classe D. La taxilane di accesso alla piazzola de-icing deve essere contenuta in una strip di 22,5 m, come mostrato in Figura 40.

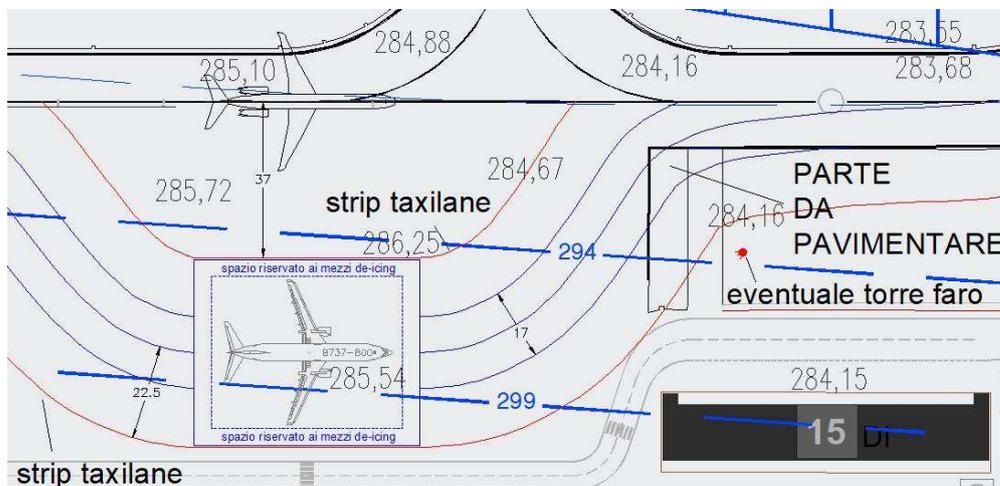


Figura 40: ipotesi 4, margini di sicurezza

È da valutare l'effettiva fattibilità dei raccordi tra taxiway e piazzola de-icing; è possibile, infatti, che la loro realizzazione comporti lo stop alla viabilità perimetrale durante le operazioni, in quanto potrebbe essere necessario aumentare la larghezza delle taxiway e, conseguentemente, aumenterebbe la fascia di sicurezza che deve essere rigorosamente priva di ostacoli (strip).

Per questa ipotesi, l'interazione con la superficie di approccio è inesistente, mentre la superficie di transizione viene sfonata da ostacoli in movimento (aerei). Tale interazione è già presente per gli aerei che transitano sulla taxiway Lima e non rappresenta un problema. Si potrebbe prevedere, infine, l'installazione di una torre faro di altezza massima di 10 m (per evitare interazione con la superficie di transizione), di fronte all'edificio di agibilità aeroportuale e nelle vicinanze della nuova area da pavimentare. La torre-faro illuminerebbe così in parte il lato sinistro dell'aeromobile, che altrimenti rimarrebbe completamente in ombra; tuttavia, in virtù del posizionamento scelto, potrebbe comportare l'abbagliamento del pilota.

Vengono sintetizzate in Tabella 10 le caratteristiche associate a questa ipotesi.

FATTIBILITA'	RIMOZIONE MANUFATTI	TORRI FARO	STIMA ECONOMICA	CONSEGUENZA SU AGIBILITA' AEROPORTO	SFORATURA
SI	NO	1	MOLTO BASSA	SI	NO

Tabella 10: caratteristiche ipotesi numero 4

3.3.5 IPOTESI 5

Un'ulteriore soluzione a costo "zero" consiste nel posizionare la piazzola de-icing ad ovest del raccordo Foxtrot, come presentato in Figura 41. La sovrastruttura non verrebbe modificata, e quindi la piazzola de-icing sarebbe, in questo caso, in conglomerato bituminoso, materiale che, come verrà dimostrato nel corso dello studio strutturale, non è perfettamente idoneo per l'interazione con i prodotti de-icing. In base a questa ipotesi non verrebbero rimosse le aree di sosta; tuttavia, ci sarebbero pesanti conseguenze per quanto riguarda l'agibilità aeroportuale. Infatti, i raccordi Golf e Foxtrot non potrebbero essere utilizzati in caso di operazioni di de-icing in corso. Gli aeromobili in partenza che non intendono effettuare l'operazione di de-icing dovrebbero utilizzare il raccordo Echo per decollare, e ciò implicherebbe il fatto di non poter sfruttare la pista 36 per la sua lunghezza totale. Inoltre, gli aeromobili di classe superiore al C, non potendo utilizzare il raccordo Echo, andrebbero a interferire con le operazioni di de-icing in piazzola, in quanto possono decollare solo previa passaggio sul raccordo Golf.

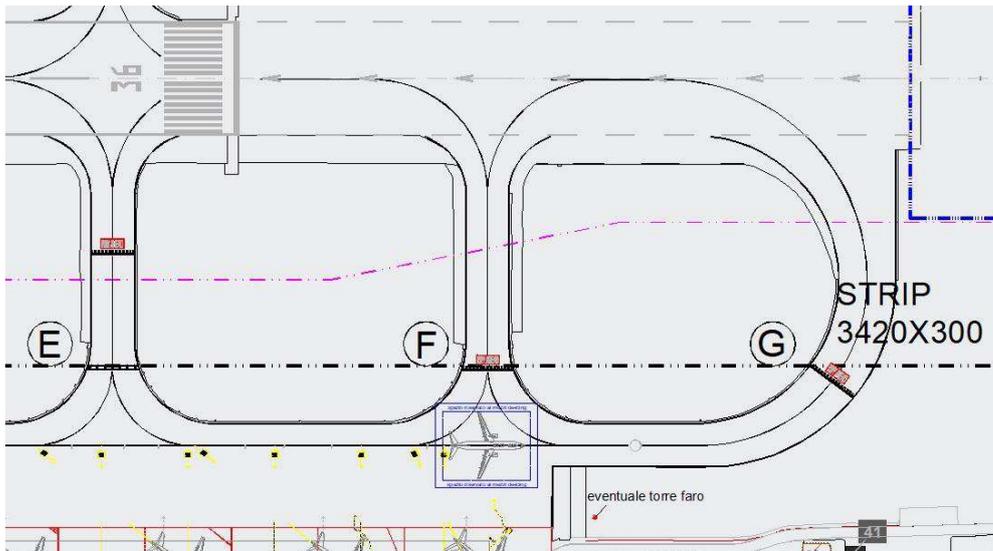


Figura 41: ipotesi numero 5, vista in pianta

Non sono previste complicazioni relativamente all'interazione con le superfici di avvicinamento (Figura 42), in quanto le sovrastrutture rimangono le stesse e i movimenti lungo la taxiway non verrebbero particolarmente modificati.

Per quanto riguarda l'illuminazione, la parte ovest della piazzola risulta essere già sufficientemente illuminata dalle torri faro per le aree di sosta. Non è possibile installare un'ulteriore torre faro lungo il lato est della piazzola in quanto andrebbe ad interferire con la superficie di transizione. Si potrebbe pensare di posizionare una torre faro nel lato sud-ovest della piazzola, di altezza massima 10 m. Tuttavia, non porterebbe comunque all'illuminazione del lato sinistro dell'aeromobile e migliorerebbe solo minimamente la situazione. Per questo motivo l'illuminazione dell'aereo sul lato pista verrà effettuata direttamente dai mezzi de-icing: non avendo tuttavia, gli operatori dei mezzi, una visione dell'aereo completamente illuminato, vi sono più rischi di collisione.

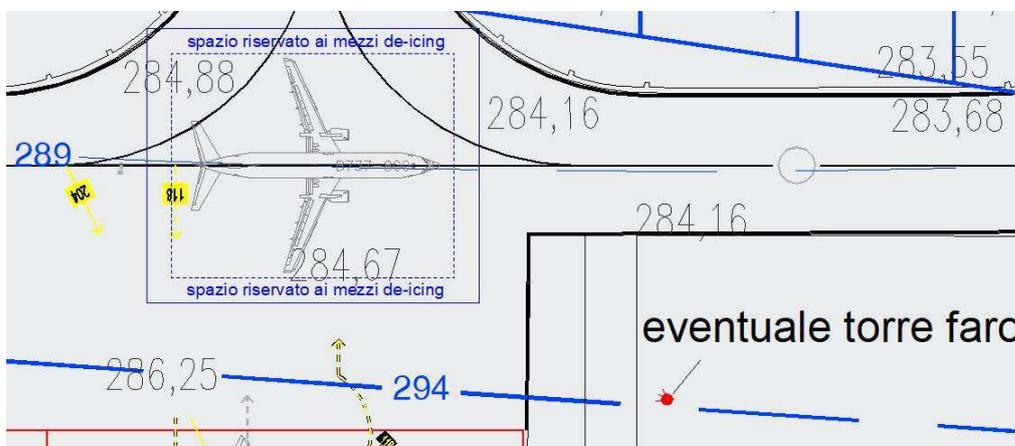


Figura 42: ipotesi numero 5, interazione con superfici di delimitazione ostacoli

Si potrebbe proporre una soluzione come quella mostrata in Figura 43, per migliorare, anche se in piccola parte, il problema dell'illuminazione. La piazzola de-icing è stata leggermente spostata verso ovest, in modo da sfruttare maggiormente la luce emessa dalla torre faro esistente e da quella eventualmente da installare.

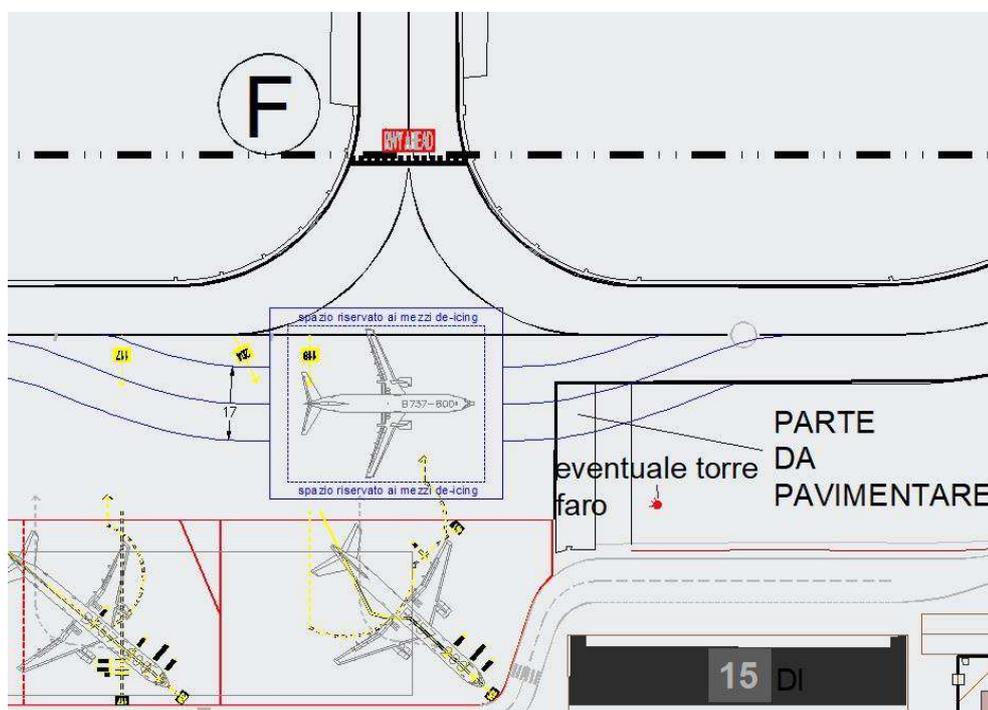


Figura 43: ipotesi 5 "bis", vista in pianta

Non vi sarebbero sostanziali differenze dal punto di vista operativo rispetto alla soluzione precedente, ma occorrerebbe pavimentare una superficie in uscita dalla taxiway (circa 300 m²).

Vengono sintetizzate in Tabella 11 le caratteristiche di questa soluzione.

FATTIBILITA'	RIMOZIONE MANUFATTI	TORRI FARO	STIMA ECONOMICA	CONSEGUENZA SU AGIBILITA' AEROPORTO	SFORATURA
SI	NO	NO	MOLTO BASSA	SI	NO

Tabella 11: caratteristiche ipotesi numero 5

3.3.6 IPOTESI 6

La piazzola de-icing, secondo questa ipotesi, verrebbe realizzata nei pressi del raccordo Golf, come mostrato in Figura 44. Non è possibile realizzarla esattamente sul raccordo, in quanto l'ala dell'aeromobile andrebbe a interferire con la superficie di avvicinamento. Questa ipotesi prevede di allargare il raccordo Golf, che comunque non potrà essere percorso da alcun aeromobile mentre la piazzola è utilizzata. Gli aeromobili che non devono effettuare l'operazione di de-

icing percorrerebbero il raccordo Foxtrot per il decollo, potendo quindi sfruttare la totalità della pista. Gli aeromobili di classe D, E ed F, dovendo passare dal raccordo Golf, andrebbero a interferire con le operazioni di de-icing in piazzola.

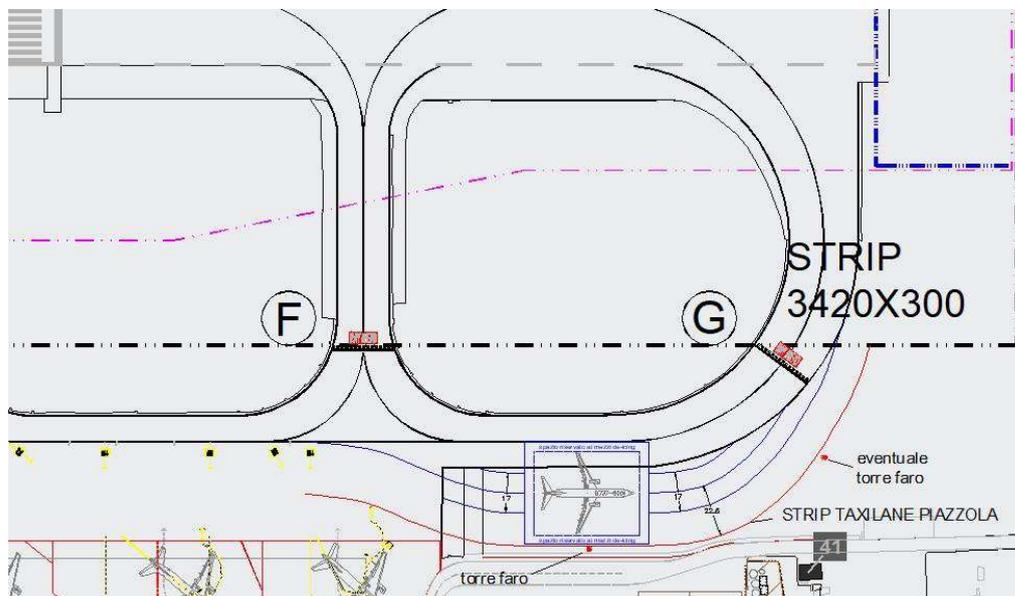


Figura 44: ipotesi numero 6, vista in pianta

Il problema principale di questa soluzione è rappresentato dall'illuminazione: si potrebbe installare una torre faro ad ovest della piazzola e di altezza massima 10 m, mentre lungo il lato est della piazzola non si possono installare torri faro in quanto andrebbero a interferire con la superficie di avvicinamento e/o transizione. Eventualmente, si può valutare l'installazione di un'ulteriore torre faro ad ovest del raccordo Golf, al di fuori della strip della taxilane di uscita dalla piazzola de-icing; tuttavia, la sua realizzazione non comporta notevoli vantaggi. Infatti, in quella localizzazione, l'altezza massima consentita della torre sarebbe di circa 8 m, rischierebbe di abbagliare i piloti in uscita dalla piazzola de-icing e comunque illuminerebbe solo in parte il lato sinistro dell'aeromobile durante le operazioni. Inoltre, la distanza torre-aereo sarebbe di circa 100 m e, per questo motivo, l'illuminazione risulterebbe debole. Non è prevista interazione, invece, tra l'aeromobile e la superficie di avvicinamento (Figura 45), se non in fase di uscita dalla piazzola e immissione nel raccordo Golf. Lo sfioramento di alcune parti di velivolo lungo il raccordo Golf, tuttavia, è già stato segnalato e concesso come deroga all'Aeroporto di Torino.

cinque delle sei ipotesi è opportuno installare torri faro, trattandosi di soluzioni nelle quali si richiede, almeno in minima parte, la costruzione di una nuova pavimentazione.

Occorre a questo punto stabilire la soluzione ottimale, da sviluppare in dettaglio nell'ambito dello studio geometrico. Considerando che è preferibile non alterare l'agibilità aeroportuale, che la rimozione di aree di sosta comporterebbe seri problemi nella gestione degli aeromobili in quanto si sta raggiungendo la saturazione dei parcheggi, che le soluzioni "low cost" implicherebbero problematiche per quanto riguarda l'illuminazione, è preferibile realizzare un'area apposita isolata per le operazioni di de-icing. Confrontando le soluzioni 1, 2 e 3, è evidente come la terza comporti un ben più elevato esborso economico, in quanto è necessaria la rimozione del separatore degli idrocarburi. È preferibile dunque la realizzazione della piazzola de-icing nella localizzazione di una tra le prime due ipotesi. Considerando che la seconda non comporta sfioramento della superficie di avvicinamento, e che si eviterebbe dunque di dover effettuare uno studio aeronautico per dimostrare che non verrebbe alterata la sicurezza delle operazioni aeroportuali, come già avvenuto nei pressi del raccordo Golf, verrà sviluppata geometricamente questa soluzione. Nel caso si verificasse l'infattibilità del raccordo curvo per l'immissione in pista, si propenderà per la soluzione numero tre, la più onerosa dal punto di vista economico, ma di sicura fattibilità. L'ipotesi di realizzazione numero tre viene in ogni caso sviluppata geometricamente, in quanto, a differenza della seconda ipotesi, comporta una maggiore illuminazione della piazzola, caratteristica fondamentale per la sicurezza delle operazioni.

delle ruote del carrello principale, “d” la distanza tra la posizione occupata dal pilota e il centro del carrello principale (la distanza tra i due carrelli dell’aereo, chiamata interasse, è spesso usata per approssimare questo valore).

Come viene citato nel capitolo 9 del manuale “Planning & Design of Airports” di Robert Horonjeff e Francis X. McKelvey, per quanto riguarda il dimensionamento dei raccordi, la dimensione del “fillet” dipende non solo dall’interasse dell’aereo, dal raggio della curva, dallo spessore della taxiway e dal cambio di direzione, ma anche dal percorso che l’aeromobile segue sulla pavimentazione. Ci sono tre modi in cui un aereo può essere manovrato in curva. Il primo è stabilire che la linea centrale della taxiway sia il percorso del centro del carrello anteriore; questo metodo è chiamato tracciamento “*nosewheel-on-centerline*”. Un altro metodo è stabilire che la linea centrale della taxiway sia il percorso direttamente al di sotto del pilota, chiamato tracciamento “*maintaining cockpit over the centerline*”. L’ultimo metodo, chiamato “*judgmental oversteering*” è quello di assumere che la cabina di pilotaggio segua un percorso distanziato dall’asse della taxiway, a discrezione del pilota. Anche se non c’è una procedura fissa, solitamente la seconda opzione è quella più utilizzata.

Per dimensionare i raccordi possono essere impiegati vari metodi. Il procedimento di gran lunga più utilizzato al giorno d’oggi è quello di ricorrere a specifici software di tracciamento, i quali simulano il percorso del carrello posteriore di uno specifico modello di aereo lungo il raccordo scelto. Esistono, tuttavia, altri metodi che possono essere impiegati e non richiedono l’acquisto di un software. Un procedimento ideato nel Regno Unito, ma usato anche negli Stati Uniti e in Australia, e consigliato per il dimensionamento preliminare, consiste nell’utilizzo di quattro grafici che consentono di stabilire la dimensione del “fillet” e del “lead-in”. Un altro metodo, semplice ma non per questo poco accurato, mostrato in Figura 47, consiste nel disegnare graficamente con il compasso il percorso del carrello posteriore, e di decidere di conseguenza la lunghezza del “fillet”.

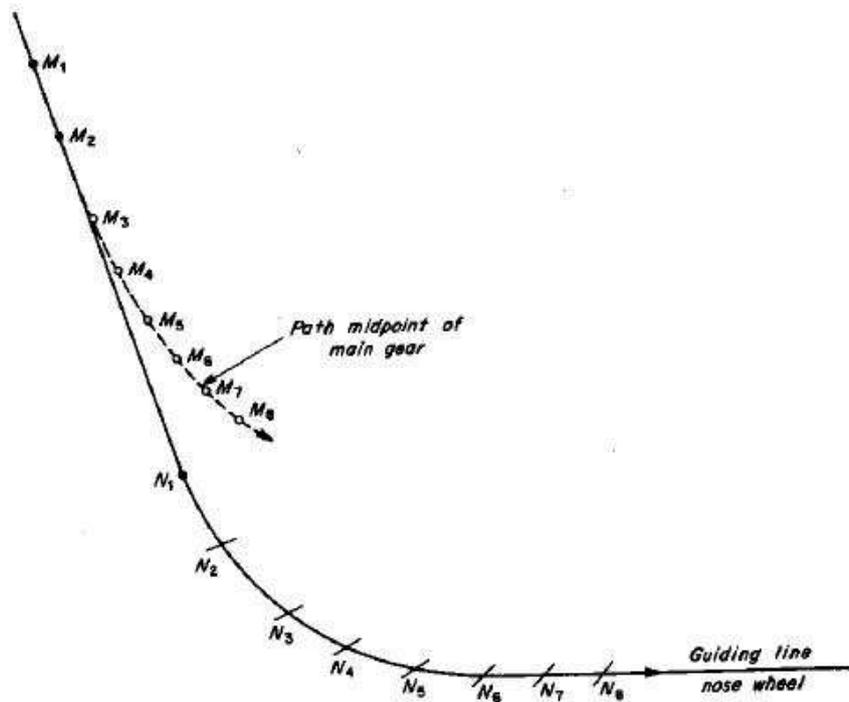


Figura 47: metodo grafico per la determinazione del percorso del carrello posteriore

Un ultimo metodo che si può utilizzare è invece di natura geometrica; infatti, ricorrendo a specifiche formule, si possono calcolare i valori di “fillet” e “lead-in” richiesti. Nella presente tesi viene impiegato quest’ultimo procedimento, per il quale viene illustrata la metodologia di calcolo:

1. viene calcolato l’angolo massimo che si crea tra la tangente all’asse centrale della taxiway e l’asse dell’aereo: ciò avviene nel punto in cui il muso dell’aereo si trova al termine della curva.

$$A_{max} = \sin^{-1} \left(\frac{d}{R} \right)$$

Come già specificato precedentemente, “d” è la distanza tra la posizione del pilota e il centro del carrello principale, spesso approssimata all’interasse dell’aereo, mentre “R” è il raggio della curva seguita dal pilota sulla taxiway, e quindi il raggio dell’asse della taxiway;

2. se possibile, si calcola anche l’angolo castore, che deve essere minore di 50°; in caso contrario il raggio di curvatura deve essere aumentato.

$$C = \tan^{-1} \left(\frac{w}{d} \cdot \tan A_{max} \right) \leq 50^\circ$$

“w” rappresenta l’interasse dell’aereo. In caso l’interasse dell’aereo venisse anche utilizzato per approssimare la grandezza “d”, chiaramente risulta:

$$C \equiv A_{max}$$

3. si può, a questo punto, calcolare il “fillet” richiesto, tramite la seguente formula:

$$F = \sqrt{R^2 + d^2 - 2 \cdot R \cdot d \cdot \sin A_{max}} - 0,5 \cdot u - M$$

“u” è la distanza tra i bordi esterni delle ruote del carrello posteriore (outer main gear wheel span, abbreviato OMG), “M” è la minima distanza di separazione richiesta tra il bordo esterno delle ruote ed il bordo della pavimentazione. Tale valore risulta essere uguale, per aeromobili di classe C o superiore, a 4 m;

4. infine, viene calcolata la lunghezza del “lead-in” in questo modo:

$$L = d \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot d \cdot \tan(0,5 \cdot A_{max})}{W - u - 2M} \right] - d$$

“W” è la larghezza della taxiway nella parte rettilinea.

I calcoli dovrebbero essere effettuati per tutti gli aeromobili presenti nella flotta, in quanto è possibile che un aeromobile leggermente più piccolo di dimensioni, sia in lunghezza che in apertura alare, abbia una configurazione del carrello e dell’interasse tale da influenzare maggiormente la larghezza della via di rullaggio rispetto a un aereo di più grandi dimensioni. Per questo motivo, sono stati effettuati i calcoli per la flotta composta da tutti gli aeromobili di classe C partiti dall’Aeroporto di Torino durante l’intero anno 2016. Gli aeromobili di classe A e B, pur utilizzando la piazzola de-icing, sono di gran lunga più piccoli rispetto a quelli considerati, e quindi ritenuti superflui ai fini del dimensionamento in oggetto.

Gli aeromobili utilizzati per i calcoli, con le relative dimensioni, sono mostrati in Tabella 14.

MODELLO AEREO	WINGSPAN [m]	LENGTH [m]	OMG [m]	WHEELBASE [m]
A319-100	35,80	33,84	8,95	11,04
A320-200	35,80	37,57	8,95	12,64
BOEING 737-400	28,88	36,40	6,63	14,27
BOEING 737-800 STANDARD	34,32	39,50	7,12	15,60
BOEING 737-800 WINGLETS	35,79	39,50	7,12	15,60
CANADAIR REGIONAL JET 900	24,85	36,40	5,51	17,60
EMBRAER ERJ-195	28,72	38,65	7,34	14,64
BRITISH AEROSPACE 146	26,34	28,55	6,30	11,30
EMBRAER ERJ-190	28,72	36,24	7,34	13,81
BOEING 737-500	28,88	31,01	6,63	11,07
BOEING 737-300	28,88	33,40	6,63	12,45
BOEING 717	28,45	37,81	6,30	17,60
EMBRAER ERJ-175	28,70	31,68	6,60	11,40
CANADAIR REGIONAL JET 1000	26,19	39,14	5,47	18,77
MCDONNELL DOUGLAS MD80	32,87	45,00	6,48	22,05
A321-200	34,09	44,51	8,97	16,91
BOEING 737-700	34,32	33,65	7,12	12,60
FOKKER F70	28,08	30,90	6,44	11,54
DASH 8Q	28,42	32,84	9,28	13,94
CANADAIR REGIONAL JET 1000 NG	26,19	39,14	5,47	18,77
MCDONNELL DOUGLAS MD82	32,78	45,00	6,48	22,05
DASSAULT FALCON 7X	26,21	23,19	5,73	9,73
CANADAIR GLOBAL EXPRESS	28,65	30,30	5,46	13,11
AVRO RJ70	26,34	26,16	6,30	11,30
EMBRAER ERJ-170	26,00	29,90	6,60	10,60
BOEING 737-700 WINGLETS	35,79	33,63	7,12	12,60
AVRO RJ100	26,34	30,99	6,30	11,30
FOKKER F100	28,08	35,53	6,44	14,01
BOEING 737-600	34,32	31,24	7,12	11,23
BOEING 737-300	28,88	33,40	6,63	12,45
ANTONOV AN 26	29,20	23,80	8,90	7,53
ALENIA ATR 72	27,00	27,20	5,45	10,58
A318	34,10	31,44	8,99	10,25
BOEING 737-900	35,79	42,11	7,12	17,17
ANTONOV AN72	31,89	28,07	6,30	8,23
ANTONOV AN24	29,20	23,53	8,90	7,90
FOKKER F50	29,00	25,25	8,60	9,70

Tabella 14: elenco flotta aeromobili per dimensionamento geometrico

Per ciascun modello di aeromobile, i dati di apertura alare (wingspan) e di lunghezza (length), sono facilmente reperibili sui siti ufficiali dei fabbricanti, oppure sul sito internet flugzeuginfo.net/index_en.php. Il dato di distanza tra i bordi esterni delle ruote del carrello posteriore, invece, è di più difficile ricerca, in quanto sui siti ufficiali dei fabbricanti si trova più facilmente il dato relativo alla distanza denominata “wheel tread”, mostrata in Figura 48.

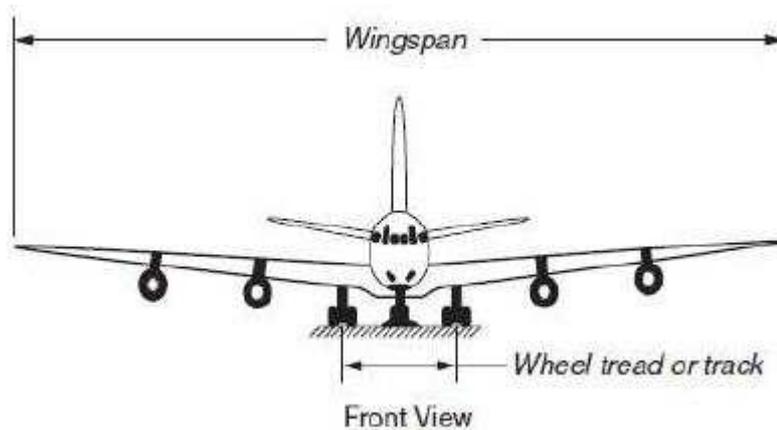


Figura 48: dimensioni fisiche aeromobile

Per risalire alla distanza richiesta dai calcoli, è stata sommata al dato relativo al “wheel tread” la lunghezza restante, stimata nel modo seguente: nel libretto ufficiale dell’Airbus 321 è presente il dato relativo sia alla distanza tra i bordi esterni delle ruote del carrello posteriore, sia al “wheel tread”, come dimostra la Figura 49.

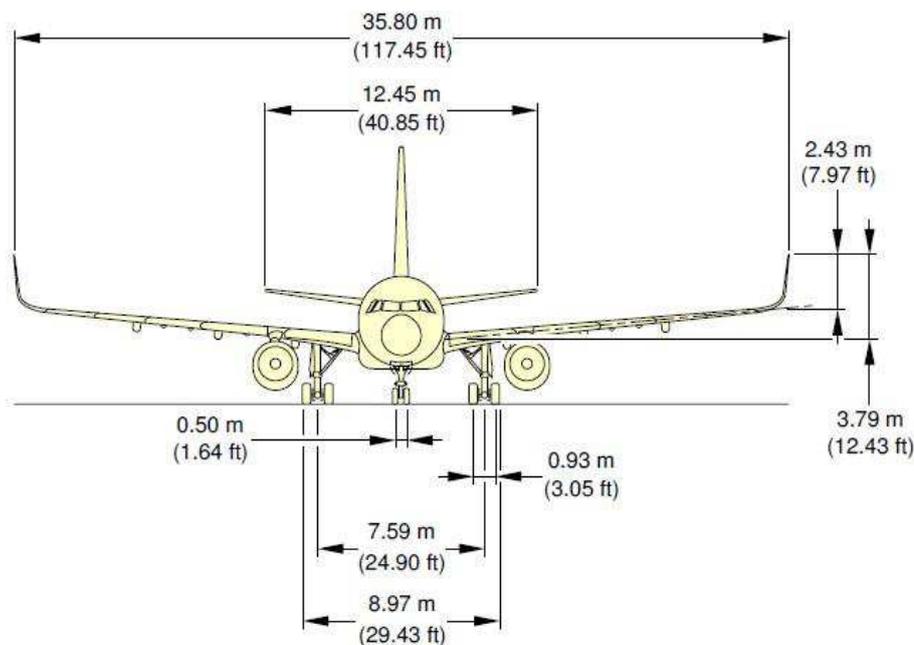


Figura 49: dimensioni Airbus 321

Specificando che tutti gli aerei nella flotta scelta per i calcoli possiedono il carrello posteriore doppio, è stata stimata la grandezza richiesta tramite la sottrazione tra i due dati che sono già presenti nel caso dell'Airbus 321. È stata sommata, dunque, in tutti i casi in cui è stato reperibile solamente il dato relativo al "wheel tread", identificabili in Tabella 14 dalle celle di colore rosa, la lunghezza di 1,4 m. Per altri due aeromobili, invece, identificabili in Tabella 14 dalle celle di colore arancione, è stato reperibile il dato relativo alla distanza tra i bordi interni delle ruote del carrello posteriore: in questi casi è stata sommata la lunghezza di 2,8 m, ovvero il doppio del caso precedente. Per quanto riguarda gli aeromobili in corrispondenza delle celle senza alcun riempimento è stato riportato direttamente il dato richiesto, reperito dai manuali ufficiali dei produttori degli aerei. Si noti come, nel caso del Dash 8 Q400, la grandezza risulta essere superiore ai 9 m massimi per rientrare in classe C. Nonostante ciò, l'aeromobile è riconosciuto comunque come appartenente a tale classe, in quanto la sua apertura alare è minore di 36 m, e tale grandezza risulta essere maggiormente determinante nell'attribuzione della categoria ICAO di appartenenza.

Il dato relativo all'interasse, invece, è stato identificato facilmente per la maggior parte degli aerei. In soli sei casi, invece, individuati dalle celle blu, per ottenerlo è stata effettuata una proporzione, data l'immagine della vista laterale dell'aereo ed il dato relativo alla sua lunghezza. Si riporta a titolo d'esempio il caso del Canadair Global Express in Figura 50, la cui lunghezza è di 30,30 m. Tramite una proporzione relativa alle dimensioni dell'immagine stessa, è stata calcolata la lunghezza dell'interasse, che in questo caso risulta essere 13,11 m.

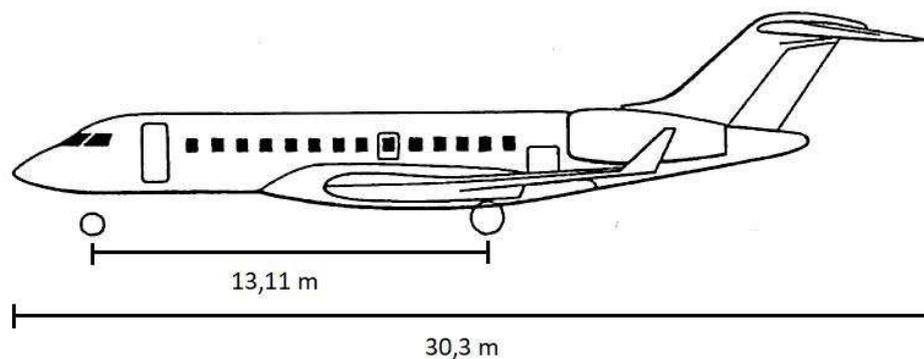


Figura 50: dimensioni Canadair Global Express

4.1 SVILUPPO GEOMETRICO (IPOTESI DUE)

Una volta completata la tabella con le dimensioni degli aerei richieste, viene effettuato il dimensionamento dei raccordi della taxiway per quanto riguarda l'ipotesi scelta, ovvero la seconda. Nel corso del dimensionamento preliminare, era stato stabilito di realizzare le taxiway con le dimensioni minime consentite, ovvero 15 m per le parti rettilinee e 17 m per le parti curve. Per quanto riguarda

le ulteriori grandezze richieste, la distanza tra la posizione del pilota ed il centro del carrello principale viene approssimata con l'interasse dell'aereo e la minima distanza di separazione tra il bordo esterno delle ruote ed il margine della pavimentazione, come già specificato, è di 4 m.

Per effettuare il dimensionamento, il raggio della curva viene ipotizzato, e viene verificato se gli angoli di sterzata massimi sono minori di 50° e se gli spazi presenti nell'area sono adeguati per la realizzazione del "fillet" e "lead-in" calcolati in conseguenza al raggio di curvatura scelto.

L'angolo massimo che si crea tra la tangente all'asse centrale della taxiway e l'asse dell'aereo, come già specificato, si calcola con la formula seguente. Confondendo "d", distanza tra la posizione del pilota e il centro del carrello principale, con l'interasse dell'aereo, tale angolo risulta uguale all'angolo castore, che deve risultare necessariamente minore di 50°.

$$C = A_{max} = \sin^{-1} \left(\frac{d}{R} \right) \leq 50^\circ$$

Inserendo nella formula l'interasse di dimensioni maggiori tra gli aeromobili scelti, ovvero 22,05 m relativo all'MD-80, ne risulta come, affinché l'angolo castore sia minore di 50°, il raggio debba essere di almeno 29 m.

$$C = A_{max} = \sin^{-1} \left(\frac{22,05}{29} \right) = 49,5^\circ \leq 50^\circ$$

Impostato, come prima ipotesi, il raggio di curvatura dell'asse centrale della taxiway a 29 m, viene calcolato il "fillet" necessario a garantire in ogni punto almeno 4 m di separazione tra il bordo esterno delle ruote del carrello posteriore ed il margine della pavimentazione. La formula viene applicata per tutti gli aerei in tabella.

$$F = \sqrt{R^2 + d^2 - 2 \cdot R \cdot d \cdot \sin A_{max}} - 0,5 \cdot u - M$$

Le grandezze che non cambiano al variare del tipo di aeromobile considerato sono chiaramente il raggio di curvatura "R", stabilito di 29 m, ed il margine di sicurezza "M", di 4 m. I risultati ottenuti sono esposti in Tabella 15.

MODELLO AEREO	OMG [m]	WHEELBASE [m]	Amax [°]	FILLET [m]
A319-100	8,95	11,04	22,4	18,3
A320-200	8,95	12,64	25,9	17,6
BOEING 737-400	6,63	14,27	29,5	17,9
BOEING 737-800 STANDARD	7,12	15,60	32,6	16,9
BOEING 737-800 WINGLETS	7,12	15,60	32,6	16,9
CANADAIR REGIONAL JET 900	5,51	17,60	37,4	16,3
EMBRAER ERJ-195	7,34	14,64	30,3	17,4
BRITISH AEROSPACE 146	6,3	11,30	22,9	19,6
EMBRAER ERJ-190	7,34	13,81	28,5	17,8
BOEING 737-500	6,63	11,07	22,5	19,5
BOEING 737-300	6,63	12,45	25,4	18,9
BOEING 717	6,3	17,60	37,4	15,9
EMBRAER ERJ-175	6,6	11,40	23,2	19,4
CANADAIR REGIONAL JET 1000	5,47	18,77	40,4	15,4
MCDONNELL DOUGLAS MD80	6,48	22,05	49,5	11,6
A321-200	8,97	16,91	35,7	15,1
BOEING 737-700	7,12	12,60	25,8	18,6
FOKKER F70	6,44	11,54	23,5	19,4
DASH 8Q	9,28	13,94	28,7	16,8
CANADAIR REGIONAL JET 1000 NG	5,47	18,77	40,4	15,4
MCDONNELL DOUGLAS MD82	6,48	22,05	49,5	11,6
DASSAULT FALCON 7X	5,73	9,73	19,6	20,5
CANADAIR GLOBAL EXPRESS	5,46	13,11	26,9	19,1
AVRO RJ70	6,3	11,30	22,9	19,6
EMBRAER ERJ-170	6,6	10,60	21,5	19,7
BOEING 737-700 WINGLETS	7,12	12,60	25,8	18,6
AVRO RJ100	6,3	11,30	22,9	19,6
FOKKER F100	6,44	14,01	28,9	18,2
BOEING 737-600	7,12	11,23	22,8	19,2
BOEING 737-300	6,63	12,45	25,4	18,9
ANTONOV AN 26	8,9	7,53	15,1	19,6
ALENIA ATR 72	5,45	10,58	21,4	20,3
A318	8,99	10,25	20,7	18,6
BOEING 737-900	7,12	17,17	36,3	15,8
ANTONOV AN72	6,3	8,23	16,5	20,7
ANTONOV AN24	8,9	7,90	15,8	19,5
FOKKER F50	8,6	9,70	19,6	19,0

Tabella 15: dimensioni "fillet" calcolate per l'ipotesi numero due

Gli angoli di sterzata critici, come già calcolato, sono relativi all'MD-80 e MD-82; per gli stessi aeromobili si identificano i valori più bassi di "fillet" da garantire, che viene quindi fissato a 11 m. Bisogna chiaramente individuare il valore minimo e non il massimo di "fillet", in quanto lunghezze ridotte significano

maggior pavidmentazione da realizzare per garantire i margini di sicurezza. Sempre per questo motivo, i valori di "fillet" vengono arrotondati per difetto, ponendosi in favore di sicurezza.

Occorre, infine, stabilire la lunghezza del "lead-in" da garantire, ovvero la lunghezza di pavidmentazione necessaria tra il punto di fine curva e il punto in cui la taxiway ritorna della larghezza stabilita per la traiettoria rettilinea.

$$L = d \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot d \cdot \tan(0,5 \cdot A_{max})}{W - u - 2M} \right] - d$$

Le grandezze nella formula soprastante sono le stesse già introdotte per il calcolo del "fillet", ad eccezione di "W", larghezza della taxiway nella parte rettilinea. Poiché l'argomento del logaritmo deve necessariamente essere positivo, ed essendo il numeratore sempre maggiore di zero, ne consegue che il denominatore deve risultare anch'esso maggiore di zero. Le taxiway nelle parti rettilinee erano state predimensionate con larghezza 15 m, minimo consentito dalla normativa EASA. Poiché il margine di sicurezza "M" deve essere di almeno 4 m, ed il valore di "u", distanza tra i bordi esterni delle ruote del carrello posteriore (OMG), è pari a massimo 9,28 m, nel caso del Dash 8 Q400, ne consegue che la larghezza della taxiway nella parte rettilinea deve essere di almeno 18 m, e non 15 come da predimensionamento. Di conseguenza, viene imposta la larghezza di 18 m anche nelle parti curvilinee della taxiway, a differenza di quanto stabilito nel corso del predimensionamento, nel quale erano stati previsti 17 m. Impostata la larghezza delle taxiway a 18 m, vengono effettuati i calcoli per la lunghezza del "lead-in" per tutti gli aerei individuati; i risultati ottenuti sono mostrati in Tabella 16.

MODELLO AEREO	OMG [m]	WHEELBASE [m]	Amax [°]	FILLET [m]	LEAD IN [m]
A319-100	8,95	11,04	22,4	18,3	12,3
A320-200	8,95	12,64	25,9	17,6	17,7
BOEING 737-400	6,63	14,27	29,5	17,9	7,1
BOEING 737-800 STANDARD	7,12	15,60	32,6	16,9	13,2
BOEING 737-800 WINGLETS	7,12	15,60	32,6	16,9	13,2
CANADAIR REGIONAL JET 900	5,51	17,60	37,4	16,3	11,8
EMBRAER ERJ-195	7,34	14,64	30,3	17,4	11,5
BRITISH AEROSPACE 146	6,3	11,30	22,9	19,6	0
EMBRAER ERJ-190	7,34	13,81	28,5	17,8	9,1
BOEING 737-500	6,63	11,07	22,5	19,5	0
BOEING 737-300	6,63	12,45	25,4	18,9	2,5
BOEING 717	6,3	17,60	37,4	15,9	15,2
EMBRAER ERJ-175	6,6	11,40	23,2	19,4	0,1
CANADAIR REGIONAL JET 1000	5,47	18,77	40,4	15,4	15,1
MCDONNELL DOUGLAS MD80	6,48	22,05	49,5	11,6	31,9
A321-200	8,97	16,91	35,7	15,1	34,7
BOEING 737-700	7,12	12,60	25,8	18,6	4,9
FOKKER F70	6,44	11,54	23,5	19,4	0
DASH 8Q	9,28	13,94	28,7	16,8	27,7
CANADAIR REGIONAL JET 1000 NG	5,47	18,77	40,4	15,4	15,1
MCDONNELL DOUGLAS MD82	6,48	22,05	49,5	11,6	31,9
DASSAULT FALCON 7X	5,73	9,73	19,6	20,5	0
CANADAIR GLOBAL EXPRESS	5,46	13,11	26,9	19,1	0,2
AVRO RJ70	6,3	11,30	22,9	19,6	0
EMBRAER ERJ-170	6,6	10,60	21,5	19,7	0
BOEING 737-700 WINGLETS	7,12	12,60	25,8	18,6	4,9
AVRO RJ100	6,3	11,30	22,9	19,6	0
FOKKER F100	6,44	14,01	28,9	18,2	5,6
BOEING 737-600	7,12	11,23	22,8	19,2	1,6
BOEING 737-300	6,63	12,45	25,4	18,9	2,5
ANTONOV AN 26	8,9	7,53	15,1	19,6	2,2
ALENIA ATR 72	5,45	10,58	21,4	20,3	0
A318	8,99	10,25	20,7	18,6	10,3
BOEING 737-900	7,12	17,17	36,3	15,8	18,1
ANTONOV AN72	6,3	8,23	16,5	20,7	0
ANTONOV AN24	8,9	7,90	15,8	19,5	3,0
FOKKER F50	8,6	9,70	19,6	19,0	5,5

Tabella 16: dimensioni "lead-in" calcolate per l'ipotesi numero due

Da come si può osservare, l'aereo critico in questo caso è l'Airbus 321-200, che richiede una lunghezza di "lead-in" minima di 34,7 m: viene scelta, dunque, una lunghezza effettiva di 35 m operando in favore di sicurezza.

Dai calcoli effettuati si può notare come non sarebbe stato corretto identificare solamente un aeromobile come critico, in quanto a seconda della grandezza da dimensionare sono stati riconosciuti come critici alternativamente l'MD-80 ed MD-82, aerei con interasse maggiore, e l'Airbus 321-200, aereo con un'elevata distanza tra i bordi esterni delle ruote del carrello posteriore.

I dati derivanti dal dimensionamento della taxiway secondo questa ipotesi sono sintetizzati in Tabella 17 e Figura 51.

LARGHEZZA TAXIWAY [m]	18
RAGGIO CENTRALE DI CURVATURA [m]	29
FILLET [m]	11
LEAD-IN [m]	35
ANGOLO MASSIMO STERZATURA [°]	50
ANGOLO DEVIAZIONE TAXIWAY [°]	126

Tabella 17: riassunto caratteristiche geometriche ipotesi numero due

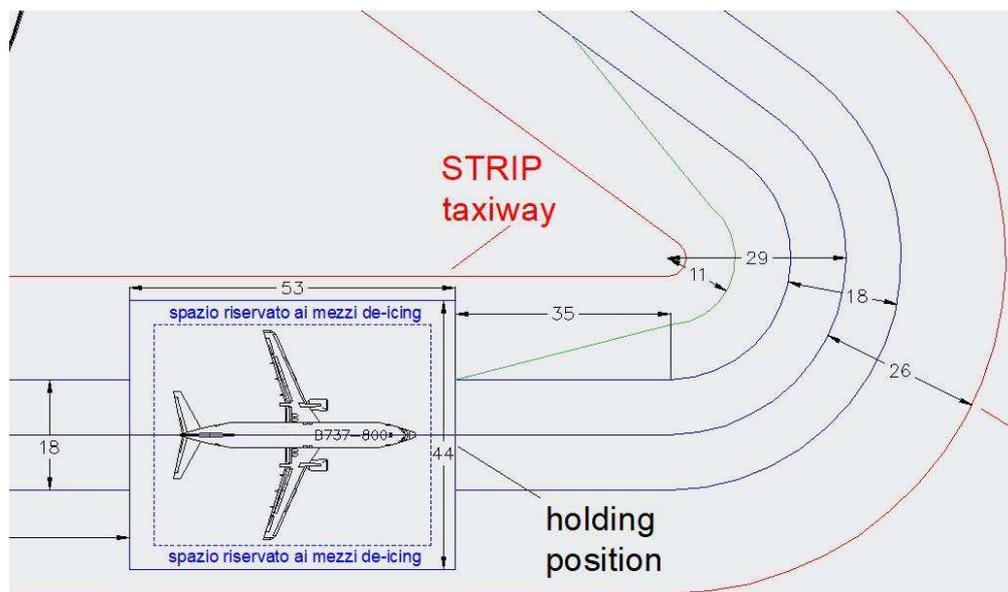


Figura 51: dimensionamento del raccordo geometrico secondo l'ipotesi numero due

Una volta dimensionato il raccordo curvo, è necessario stabilire le ulteriori caratteristiche delle taxiway (pendenze longitudinali e trasversali), della piazzola (quota, forma e dimensioni definitive), l'altezza delle torri faro, e l'eventuale collocazione di barriere anti jet-blast.

Per stabilire le pendenze longitudinali, si farà riferimento alle quote dell'asse centrale della taxiway. Come già specificato precedentemente, la piazzola viene collocata a sufficiente distanza dal raccordo Golf, facendo in modo che tale raccordo possa essere utilizzato anche durante le operazioni di de-icing (Figura 52). Tale distanza risulta essere uguale, affinché il raccordo possa essere

impiegato da qualsiasi tipo di aereo esistente (categoria ICAO F), a 51 m, in accordo con le distanze di sicurezza richieste dal regolamento EASA.

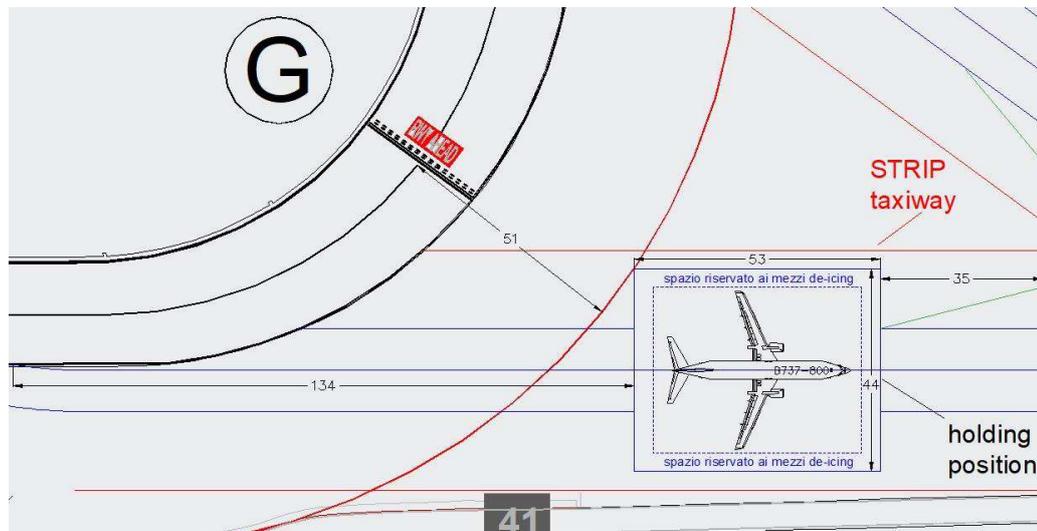


Figura 52: distanza piazzola-raccordo Golf per l'ipotesi numero due

Mantenendo 51 m di distanza tra il raccordo Golf e la piazzola, quest'ultima risulta essere distante 134 m dal punto in cui si innesta l'asse della taxiway dal raccordo. Tale punto, da un recente rilievo topografico, risulta avere quota 283,83 m. Decidendo dunque di assegnare al primo tratto della taxiway, ovvero fino alla piazzola de-icing, una pendenza costante negativa del 1%, come mostrato in Figura 53, la quota della piazzola risulta fissata a 282,50 m. Assegnando una pendenza costante del 1% non insorgono problemi di rispetto della normativa EASA che, come già citato, fissa la pendenza longitudinale massima ammissibile a 1,5% ed i cambi di pendenza massimi non eccedenti l'1% ogni 30 m.

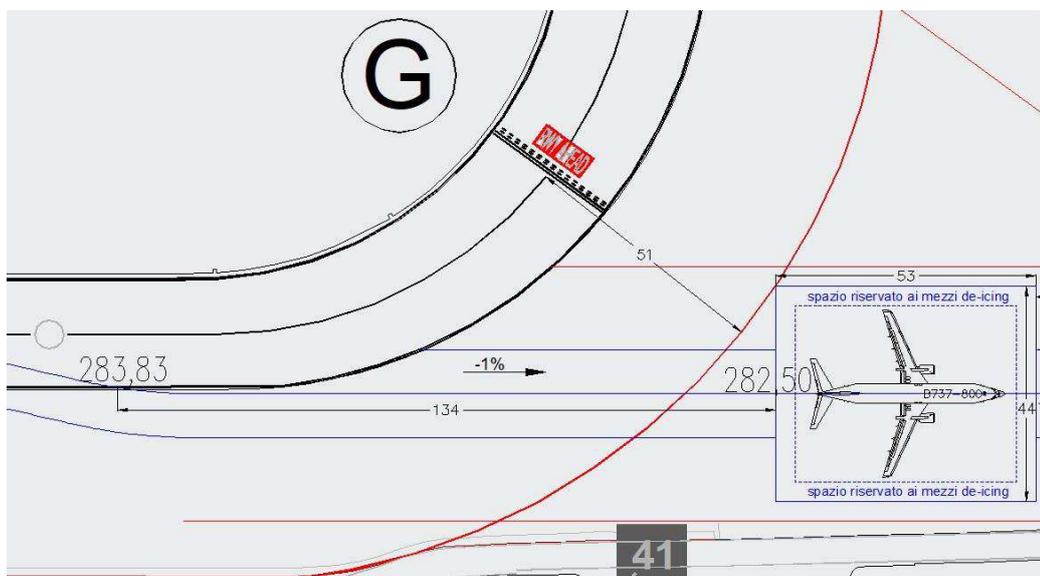


Figura 53: quota della piazzola de-icing secondo l'ipotesi numero due

La piazzola de-icing, stabilita a quota 282,50 m, viene realizzata completamente in piano longitudinalmente, per fare in modo che l'aereo rimanga fermo durante le operazioni, senza dover utilizzare tacchi per bloccare le ruote. La taxiway di collegamento piazzola-pista viene anch'essa realizzata con pendenza longitudinale nulla, in quanto la quota di inizio pista in prossimità del collegamento con la taxiway è fissata a 282,49 m: non è necessario, dunque, assegnare pendenze alla taxiway per raggiungere la quota finale (Figura 54).

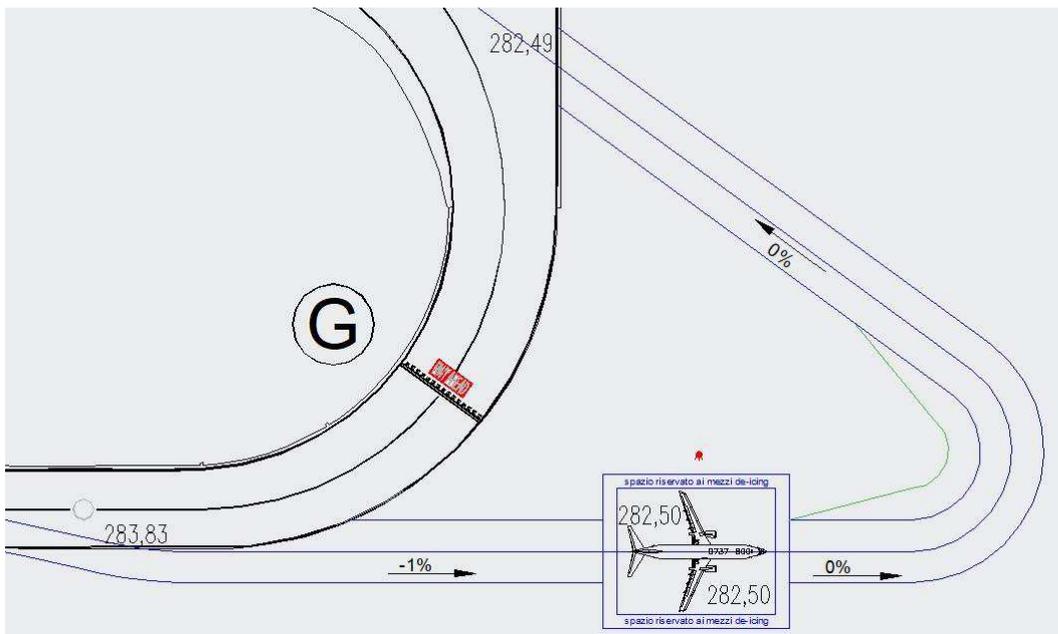


Figura 54: pendenze longitudinali delle taxiway a servizio della piazzola de-icing

Il terreno in tutta la zona in oggetto è caratterizzato da andamenti altimetrici irregolari: è necessario, dunque, per la realizzazione del progetto, movimentare grandi quantitativi di terreno, che in alcuni casi andrà rimosso ed in altri riportato.

Come già specificato durante l'analisi funzionale, è possibile evitare del tutto l'interazione con la superficie di avvicinamento. Nel momento in cui l'aereo si trova sulla piazzola, infatti, tale superficie non viene sfiorata, e prevedendo una holding position al termine della piazzola, l'aereo non verrebbe più considerato un ostacolo nel momento in cui viene autorizzato dalla torre di controllo a procedere al decollo.

Per quanto riguarda le pendenze trasversali delle taxiway, invece, queste vanno assegnate coerentemente con le pendenze longitudinali dei tratti in cui avviene il collegamento tra raccordo Golf e taxiway e tra taxiway e area di inizio pista di decollo (fine raccordo Golf) e similmente alle pendenze trasversali tipo delle pavimentazioni esistenti. Si specifica che il caso aeroportuale è ben diverso da trattare rispetto al caso stradale, nel quale lo studio delle pendenze trasversali è di fondamentale importanza affinché venga garantita stabilità al veicolo in curva.

Nel caso aeroportuale non emergono problemi di stabilità in curva, in quanto le taxiway sono percorse a basse velocità: è possibile, di conseguenza, realizzare anche i tratti curvi in contropendenza, ovvero con pendenza negativa dal lato interno verso il lato esterno della curva stessa. Le sezioni trasversali delle taxiway e della runway presso l'Aeroporto di Torino sono tipicamente a un'unica falda, in modo da scaricare l'acqua meteorica verso un solo canale di scolo, posto chiaramente verso il lato con quota più bassa. La pendenza trasversale sulla runway 18/36 è di 0,7% in direzione est, da come si può notare in Figura 55.

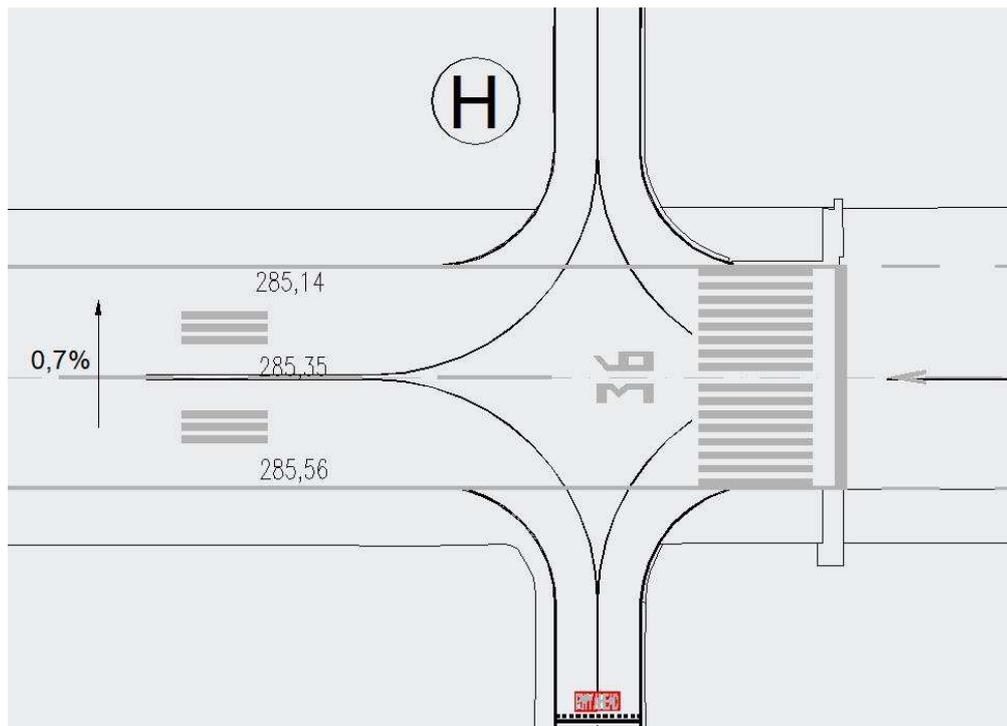


Figura 55: pendenza trasversale runway 18/36

Viene stabilito, di conseguenza, di realizzare le nuove taxiway e la piazzola de-icing con pendenze trasversali ad un'unica falda, stabilite coerentemente con le pendenze longitudinali dei tratti alla quale si raccordano. Poiché il raccordo Golf è caratterizzato da una pendenza longitudinale negativa, è necessario che la pendenza della taxiway di nuova realizzazione sia rivolta da ovest verso est, come schematizza la Figura 56, nella quale la direzione delle frecce indica la pendenza locale. Viene imposto il valore di pendenza trasversale del 1%, ritenuto sufficiente al deflusso delle acque meteoriche, ma non eccessivamente grande da compromettere la stabilità dell'aeromobile.

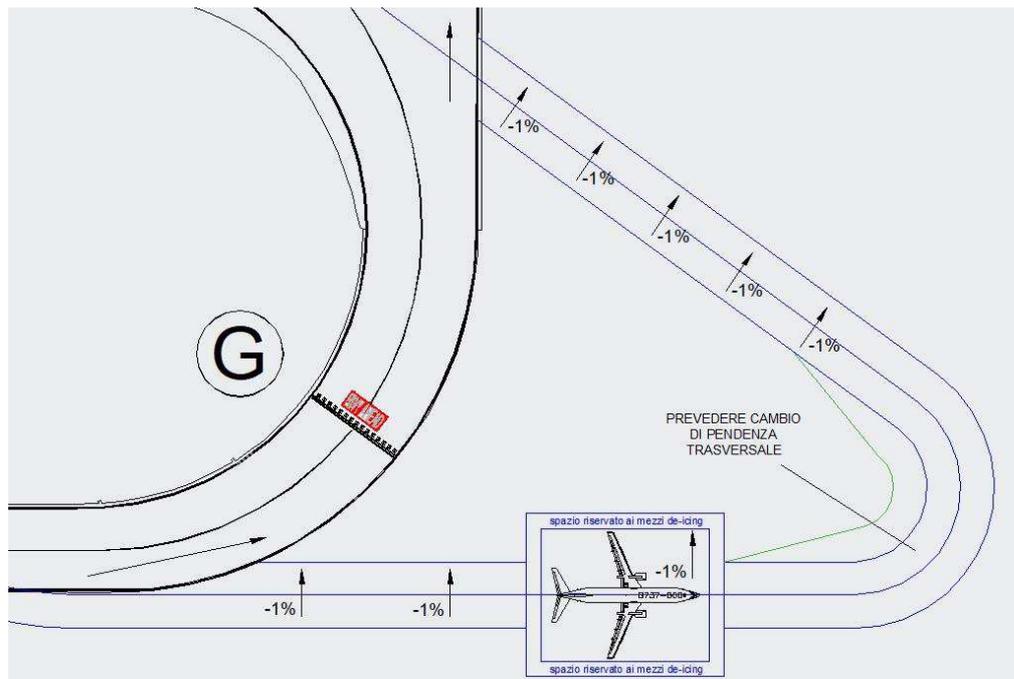


Figura 56: pendenze trasversali piazzola de-icing e taxiway

È necessario realizzare la parte curva della taxiway prevedendo un cambio di pendenza trasversale, passando da -1% verso il margine sinistro al -1% verso il margine destro della pavimentazione. Per far ciò viene imposta una variazione lineare di pendenza: in questo modo risulta inevitabile che vi sia un breve tratto con pendenza trasversale nulla. Risulterà sicuramente necessario inoltre intervenire localmente anche sul raccordo Golf, aggiustando le quote di parte della pavimentazione in modo da realizzare la nuova taxiway con le pendenze trasversali adeguate. È da prevedere, infine, la realizzazione di canali di scolo per le acque meteoriche provenienti dalla taxiway e, separatamente, un canale di scolo per il liquido de-icing proveniente dalla piazzola, in quanto, essendo tale liquido impattante dal punto di vista ambientale, è preferibile che venga smaltito in fognatura.

Nei riguardi della forma della piazzola de-icing, è preferibile mantenere quella rettangolare, in quanto permette ai mezzi de-icing una maggiore libertà di movimento. Viene scelto, dunque, di escludere la forma ellittica ed ottagonale irregolare, che avrebbero permesso di risparmiare leggermente in termini costruttivi. Le dimensioni, di conseguenza, rimangono le stesse già stabilite durante lo studio funzionale preliminare, ovvero 53 m in lunghezza e 44 m in larghezza.

Determinati gli aspetti geometrici del progetto, occorre a questo punto stabilire l'altezza delle torri faro da installare. Avendo fissato la quota della piazzola de-icing a 282,50 m, e non alterando la quota del terreno nei punti di installazione

delle torri, queste possono essere collocate fino ad un'altezza massima di 9 e 11 m, rispettivamente ad est e ovest della piazzola, come schematizza la Figura 57.

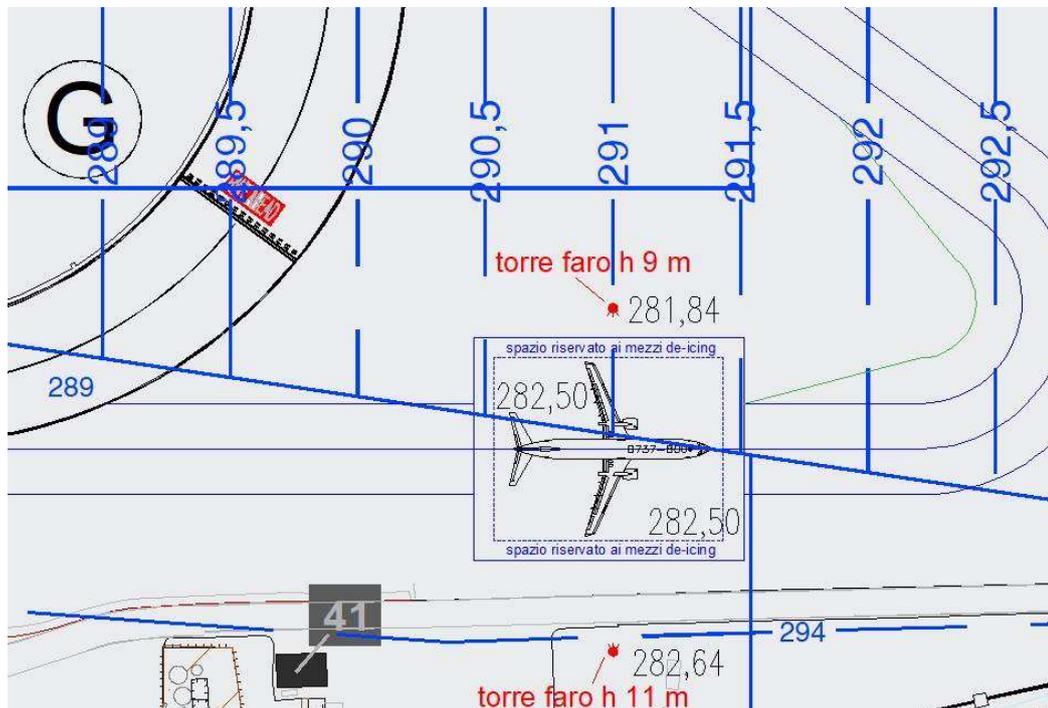


Figura 57: installazione delle torri faro

La torre faro "lato est" può raggiungere al massimo la quota di 291 m, per non interferire con la superficie di avvicinamento. Poiché la quota del terreno è di circa 281,84 m, realizzando una torre faro di 9 m si raggiungerebbe quota 290,84 m, e quindi circa 8 m più in alto rispetto alla piazzola de-icing. La torre faro "lato ovest", invece, può raggiungere al massimo la quota di 294 m, per non interferire con la superficie di transizione. Essendo il terreno posto a quota 282,64 m, realizzando una torre faro di 11 m, si raggiungerebbe la quota di 293,64 m, circa 11 m più in alto rispetto alla piazzola de-icing. L'illuminazione risultante, dunque, non è sufficiente a garantire la completa visibilità degli aerei, specialmente quelli con altezza di piano di coda superiore agli 11 m. Tuttavia, tale parte dell'aereo può essere illuminata maggiormente direttamente dai mezzi de-icing, con sufficiente cautela per evitare il rischio di collisioni.

Bisogna, infine, prevedere barriere anti jet-blast ove necessario. Con il termine jet-blast si intende il forte spostamento d'aria provocato dallo scarico di un motore di un aeromobile. L'estensione dell'area nella quale si verifica tale fenomeno dipende dalla potenza dei motori e dalla direzione e forza del vento. Le aree "jet-blast" sono riportate nei manuali di compagnia per ogni singolo aeromobile. Come indicazione generale, tuttavia, si può affermare che se l'aeromobile è con i motori al minimo, la distanza di sicurezza è pari alla lunghezza dell'aeromobile (Figura 58).

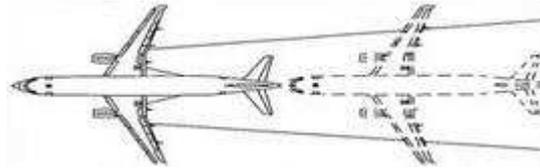


Figura 58: jet-blast con motori al minimo

Se, invece, l'aeromobile è con i motori a potenza parziale, in movimento o pronto a muovere, la distanza di sicurezza è pari al doppio della lunghezza dell'aeromobile (Figura 59).

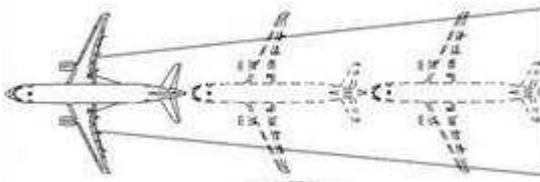


Figura 59: jet-blast con motori a potenza parziale

Al fine di garantire la sicurezza dei veicoli che percorrono la strada perimetrale, occorre installare barriere anti jet-blast (Figura 60), che mitigano abbondantemente il getto di scarico degli aerei e permettono a veicoli e pedoni di poter transitare liberamente dietro ad esse.



Figura 60: barriere anti jet-blast

Nell'ipotesi in oggetto, viene scelto di collocare le barriere successivamente alla piazzola e per tutto il tratto in curva, per proteggere tutti i veicoli che transitano lungo la strada perimetrale. Devono essere chiaramente rispettati i 26 m di distanza di sicurezza tra l'asse della taxiway e qualsiasi oggetto fisso o mobile;

per questo motivo, le barriere vengono posizionate a 26,5 m di distanza dall'asse della taxiway, come presentato in Figura 61.

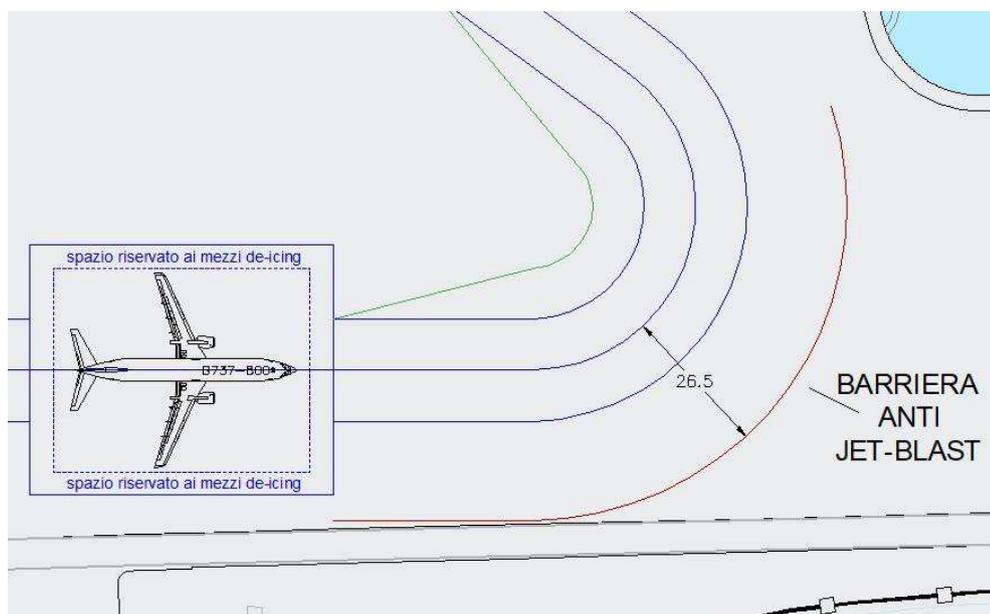


Figura 61: collocazione barriera anti jet-blast

Il progetto completo, secondo la seconda ipotesi, viene presentato in allegato in TAV.1, TAV.2 e TAV.3.

4.2 SVILUPPO GEOMETRICO (IPOTESI TRE)

Viene a questo punto effettuato il dimensionamento anche per la terza ipotesi di locazione della piazzola de-icing, ovvero in sostituzione del separatore per gli idrocarburi. Questa soluzione comporta un maggior esborso economico ed implica sicuramente interferenza con la superficie di avvicinamento almeno per un breve tratto, ma permette di ottenere un'illuminazione adeguata sulla piazzola.

Per quanto riguarda il dimensionamento geometrico dei raccordi curvi, vengono ripetuti gli stessi calcoli già effettuati per l'ipotesi precedente. Anche in questo caso, il raggio della curva viene ipotizzato, e viene verificato se gli angoli di sterzata massimi sono minori di 50° e se gli spazi presenti nell'area sono adeguati per la realizzazione del "fillet" e "lead-in" calcolati in conseguenza del raggio di curvatura scelto. La larghezza della taxiway, al fine di garantire margini di sicurezza sufficienti in ogni suo punto, viene già impostata a 18 m, come previsto nel caso precedente. In questo caso, avendo a disposizione spazi maggiori per la curvatura, il raggio viene impostato a 41,5 m, stesso raggio di curvatura utilizzato nei raccordi Foxtrot ed Echo, in modo da permettere al pilota di apprezzare in miglior modo la curva. Impostando raggi di curvatura più elevati, inoltre, ne consegue che il dimensionamento del "fillet" e "lead-in" risulti meno

severo dell'ipotesi precedente. Poiché le formule utilizzate sono le stesse, vengono riportati direttamente i calcoli completi, in Tabella 18.

MODELLO AEREO	OMG [m]	WHEELBASE [m]	Amax [°]	FILLET [m]	LEAD IN [m]
A319-100	8,95	11,04	15,4	31,5	8,2
A320-200	8,95	12,64	17,7	31,1	12,8
BOEING 737-400	6,63	14,27	20,1	31,7	1,4
BOEING 737-800 STANDARD	7,12	15,6	22,1	30,9	6,9
BOEING 737-800 WINGLETS	7,12	15,6	22,1	30,9	6,9
CANADAIR REGIONAL JET 900	5,51	17,6	25,1	30,8	4,4
EMBRAER ERJ-195	7,34	14,64	20,7	31,2	5,7
BRITISH AEROSPACE 146	6,3	11,3	15,8	32,8	0
EMBRAER ERJ-190	7,34	13,81	19,4	31,5	3,7
BOEING 737-500	6,63	11,07	15,5	32,7	0
BOEING 737-300	6,63	12,45	17,5	32,3	0
BOEING 717	6,3	17,6	25,1	30,4	7,8
EMBRAER ERJ-175	6,6	11,4	16,0	32,6	0
CANADAIR REGIONAL JET 1000	5,47	18,77	26,9	30,3	7,1
MCDONNELL DOUGLAS MD80	6,48	22,05	32,1	27,9	21,5
A321-200	8,97	16,91	24,1	29,4	27,7
BOEING 737-700	7,12	12,6	17,7	32,0	0,0
FOKKER F70	6,44	11,54	16,2	32,6	0
DASH 8Q	9,28	13,94	19,6	30,4	22,2
CANADAIR REGIONAL JET 1000 NG	5,47	18,77	26,9	30,3	7,1
MCDONNELL DOUGLAS MD82	6,48	22,05	32,1	27,9	21,5
DASSAULT FALCON 7X	5,73	9,73	13,6	33,5	0
CANADAIR GLOBAL EXPRESS	5,46	13,11	18,4	32,6	0
AVRO RJ70	6,3	11,3	15,8	32,8	0
EMBRAER ERJ-170	6,6	10,6	14,8	32,8	0
BOEING 737-700 WINGLETS	7,12	12,6	17,7	32,0	0,0
AVRO RJ100	6,3	11,3	15,8	32,8	0
FOKKER F100	6,44	14,01	19,7	31,8	0,1
BOEING 737-600	7,12	11,23	15,7	32,4	0
BOEING 737-300	6,63	12,45	17,5	32,3	0
ANTONOV AN 26	8,9	7,53	10,5	32,4	0
ALENIA ATR 72	5,45	10,58	14,8	33,4	0
A318	8,99	10,25	14,3	31,7	6,4
BOEING 737-900	7,12	17,17	24,5	30,2	11,0
ANTONOV AN72	6,3	8,23	11,4	33,5	0
ANTONOV AN24	8,9	7,9	11,0	32,3	0,1
FOKKER F50	8,6	9,7	13,5	32,1	1,8

Tabella 18: dimensioni "fillet" e "lead-in" calcolate per l'ipotesi numero tre

Da come si può osservare, in questo caso l'angolo di sterzata massimo è abbondantemente sotto i 50° ammissibili, il raggio del "fillet" è di 27 m e la lunghezza del "lead-in" deve essere di almeno 28 m. Per quanto riguarda l'ipotesi tre, si può notare come gli aeromobili critici al fine del dimensionamento siano nuovamente due: l'MD-80 per quanto riguarda la dimensione del "fillet" e l'Airbus A321-200 per la lunghezza del "lead-in". Come già specificato precedentemente, i valori di "fillet" sono stati arrotondati per difetto, mentre per il "lead-in" è stato effettuato un arrotondamento in eccesso, ponendosi in entrambi i casi in favore di sicurezza.

I dati derivanti dal dimensionamento della taxiway secondo questa ipotesi sono sintetizzati in Tabella 19 e Figura 62.

LARGHEZZA TAXIWAY [m]	18
RAGGIO CENTRALE DI CURVATURA [m]	41,5
FILLET [m]	27
LEAD-IN [m]	28
ANGOLO MASSIMO STERZATURA [°]	33
ANGOLO DEVIAZIONE TAXIWAY [°]	90

Tabella 19: riassunto caratteristiche geometriche ipotesi numero tre

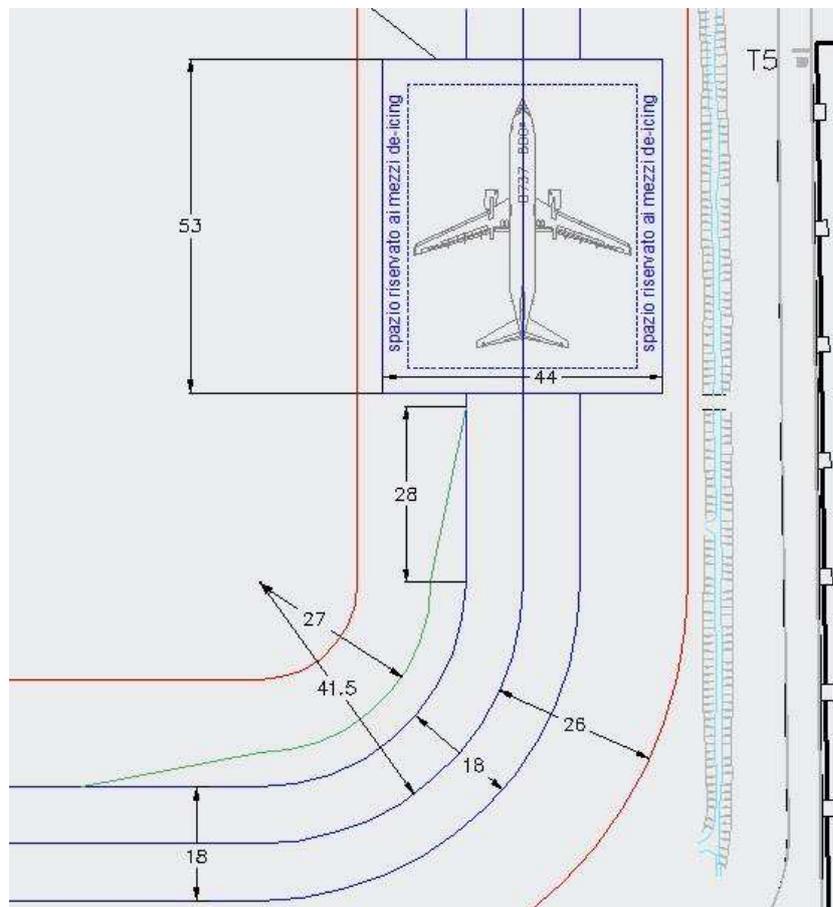


Figura 62: dimensionamento del raccordo geometrico per l'ipotesi numero tre

Una volta dimensionato il raccordo curvo, è necessario, come effettuato per l'ipotesi numero due, stabilire le ulteriori caratteristiche delle taxiway (pendenze longitudinali e trasversali), della piazzola (pendenze, quota, forma e dimensioni definitive), l'altezza delle torri faro, e l'eventuale collocazione di barriere anti jet-blast.

Per determinare le pendenze longitudinali della taxiway, si potrebbe pensare di non alterare la quota attuale dell'area (280,76 m) nella quale verrà costruita la piazzola de-icing, e quindi di assegnare le pendenze in funzione della differenza di quota tra la piazzola stessa ed i punti in cui le taxiway si raccordano all'infrastruttura esistente. Tuttavia, al fine di limitare la lunghezza del tratto di taxiway nel quale avviene sfioramento con la superficie di avvicinamento, viene scelto di abbassare ulteriormente la quota della piazzola de-icing, fino ad arrivare a 279,80 m. Quest'ultimo valore permette il deflusso delle acque meteoriche verso i canali di scolo di nuova realizzazione previsti dal progetto di ampliamento della RESA 18: non risulterebbe possibile abbassare ulteriormente la quota, e quindi limitare maggiormente il tratto di taxiway nel quale avviene sfioramento, in quanto la piazzola de-icing verrebbe realizzata ad una quota superiore a quella dei canali di scolo, e quindi bisognerebbe prevedere sistemi di pompaggio per il deflusso delle acque meteoriche.

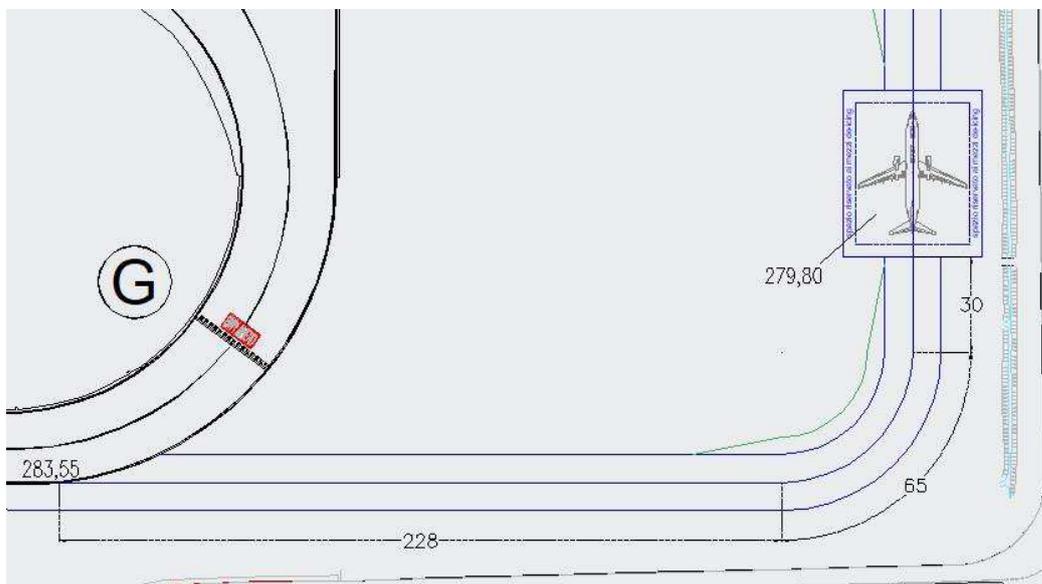


Figura 63: lunghezza del primo tratto di taxiway per l'ipotesi numero tre

Da come si può notare in Figura 63, la quota del raccordo Golf nel punto di collegamento con la nuova taxiway è 283,55 m. Avendo fissato la quota della piazzola de-icing a 279,80 m, occorre stabilire la pendenza longitudinale del primo tratto di taxiway, ovvero il ramo di collegamento raccordo Golf-piazzola. La differenza tra le due quote è di 3,75 m, mentre la lunghezza totale del tratto, calcolata sull'asse centrale della taxiway, è di 323 m. Assegnando la pendenza

negativa del 1% per i primi e gli ultimi 30 m di lunghezza prima della piazzola, in modo da rispettare i limiti di normativa imposti da EASA, i restanti 263 m verranno realizzati con la seguente pendenza:

$$P_2 = \frac{(Q_{Piaz} - Q_{Golf}) - L_1 \cdot P_1 - L_3 \cdot P_3}{L_2} =$$

$$= \frac{(283,55 - 279,80) - 30 \cdot (0,01) - 30 \cdot (0,01)}{263} = 1,2\%$$

Avendo denominato rispettivamente Q_{Piaz} la quota della piazzola de-icing, Q_{Golf} la quota del punto di collegamento tra raccordo Golf e taxiway, L_1 , L_2 , L_3 , P_1 , P_2 e P_3 rispettivamente le lunghezze e le pendenze dei tre tratti in cui è stata divisa la taxiway. La Figura 64 mostra le pendenze longitudinali del primo tratto di taxiway.

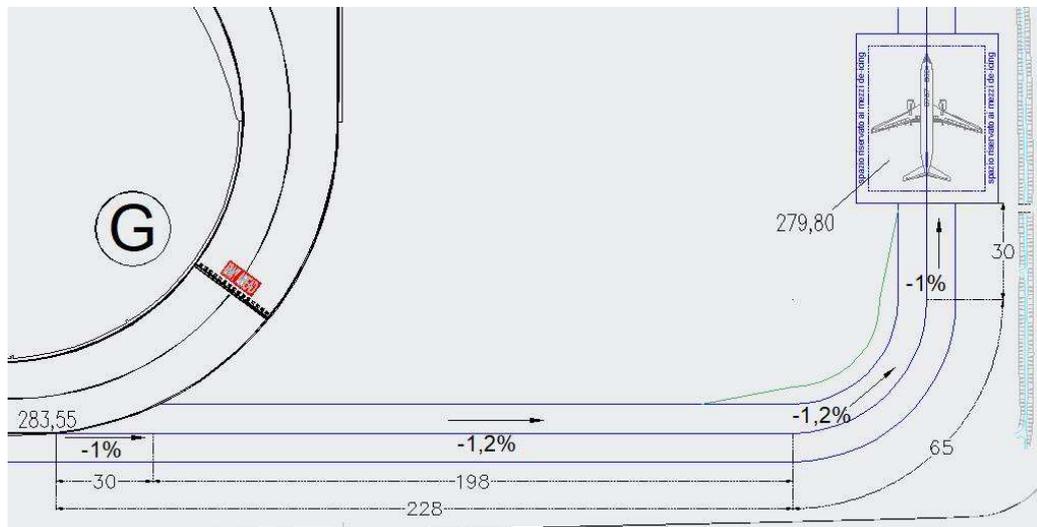


Figura 64: quota della piazzola de-icing e pendenze longitudinali per l'ipotesi numero tre

Risulta inevitabile, come già specificato, lo sfioramento della superficie di avvicinamento da parte di alcuni tipi di aeromobili, almeno per una parte del tratto di taxiway. Assegnando le pendenze stabilite, si può notare dalla Figura 65 come, nel punto in cui l'asse della taxiway entra nell'area di interazione con la superficie di avvicinamento, quest'ultima è a quota 291,25 m. Poiché l'asse della taxiway è a quota 281,96 m circa, si verifica sfioramento con la coda di alcuni modelli di aeromobile, come il Boeing 737-700, la cui altezza del piano di coda è 12,57 m. Lo sfioramento termina in corrispondenza del raccordo curvo, nel punto in cui la superficie di avvicinamento è a quota 293,25 m circa. La lunghezza del tratto in cui si verifica tale inconveniente è di circa 100 m. Nel caso si optasse per la soluzione in oggetto, è necessario, come già effettuato per quanto riguarda il raccordo Golf, elaborare uno studio aeronautico nel quale venga dimostrato come lo sfioramento della superficie di avvicinamento non costituisca un rischio per la navigazione e garantisca un livello di sicurezza accettabile in tutte le

condizioni meteo e di visibilità. Tale studio deve essere poi approvato dall'ente competente, in questo caso ENAV.

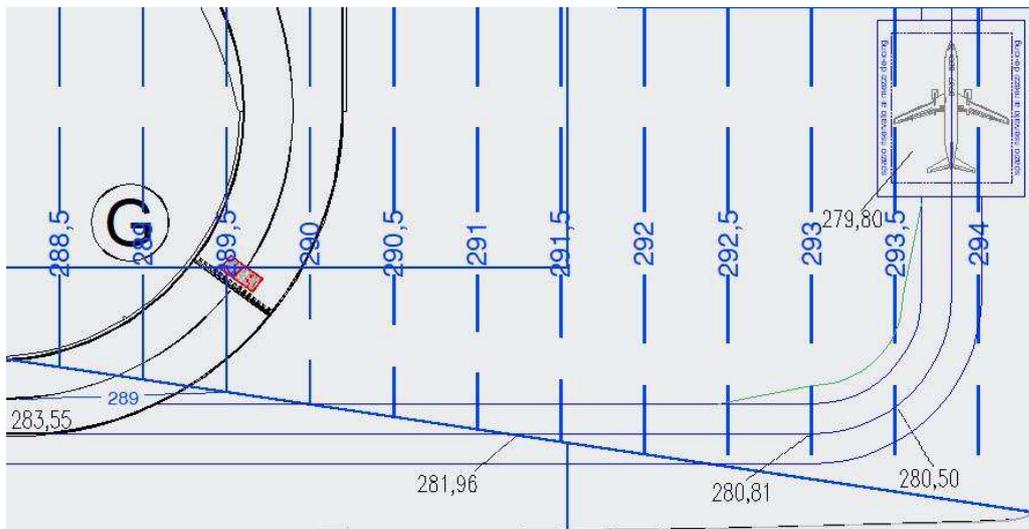


Figura 65: interazione con la superficie di avvicinamento

Avendo fissato quota della piazzola de-icing a 279,80 m, occorre stabilire la pendenza longitudinale del secondo tratto di taxiway, ovvero il ramo di collegamento piazzola-pista di decollo. Per far ciò, viene scelto di non alterare la quota di inizio pista di decollo, fissata a 281,86 m. La differenza tra le due quote è dunque 2,06 m, mentre la lunghezza totale del tratto, calcolata sull'asse centrale della taxiway, è di 229 m. In questo caso, dunque, si può imporre una pendenza positiva costante, in quanto, essendo inferiore al 1%, non è necessario imporre variazioni di pendenza longitudinale.

$$P_{TOT} = \frac{(Q_{Pista} - Q_{Piaz})}{L_{TOT}} = \frac{281,86 - 279,80}{229} = 0,9\%$$

La Figura 66 mostra la pendenza longitudinale del secondo tratto di taxiway.

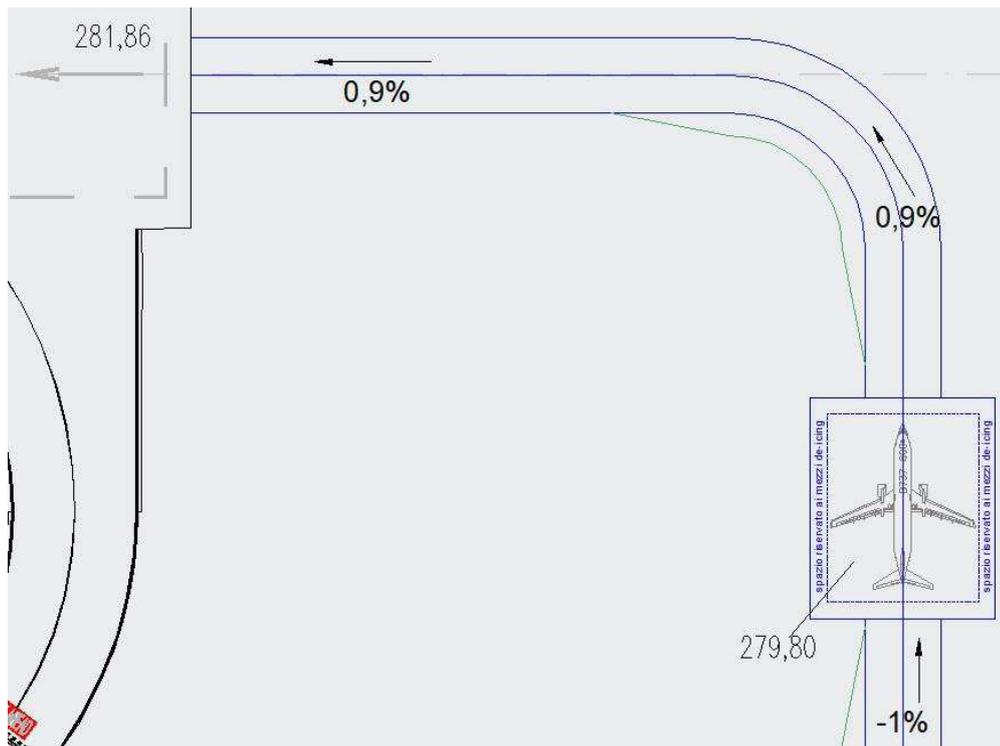


Figura 66: pendenze longitudinali del secondo tratto di taxiway

Anche in questo caso risulterà necessario per la realizzazione del progetto movimentare grandi quantitativi di terreno, che in alcuni casi andrà rimosso ed in altri riportato.

Per quanto riguarda le pendenze trasversali delle taxiway, valgono gli stessi ragionamenti già effettuati nel corso dello sviluppo geometrico della seconda ipotesi. Viene stabilito di realizzare le nuove taxiway e la piazzola de-icing con pendenze trasversali del 1% ad un'unica falda, con verso coerente con le pendenze dei tratti alla quale si raccordano. Per quanto riguarda il primo tratto della taxiway, poiché il raccordo Golf è caratterizzato da una pendenza longitudinale negativa, è necessario che la pendenza trasversale del primo tratto di taxiway di nuova realizzazione sia rivolta da ovest verso est. Per quanto riguarda il tratto finale della taxiway, allo stesso modo, è necessario imporre la pendenza trasversale da ovest verso est, in modo da essere coerente con la pendenza della pista di decollo. Per quanto riguarda, infine, il tratto centrale, la pendenza viene imposta verso sud, in modo da riversare l'acqua meteorica direttamente nel canale di scolo esistente. In corrispondenza della prima curva è necessario un cambio di pendenza trasversale. La Figura 67 mostra quanto detto precedentemente.

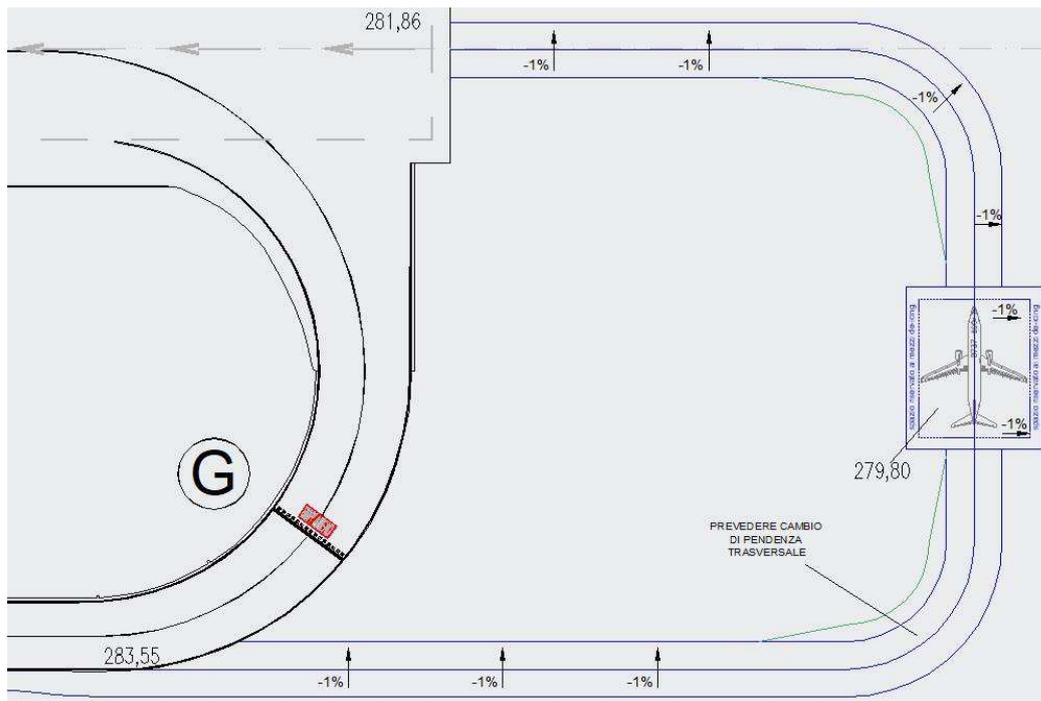


Figura 67: pendenze trasversali piazzola de-icing e taxiway

Risulterà sicuramente necessario inoltre intervenire localmente sia sul raccordo Golf, sia sulla pista di decollo, aggiustando le quote di parte della pavimentazione in modo da realizzare la nuova taxiway con le pendenze trasversali adeguate. È da prevedere, infine, la realizzazione di canalette che destinino l'acqua meteorica verso il canale di scolo esistente ed il liquido de-icing verso le vasche di prima pioggia.

Nei riguardi della forma della piazzola de-icing, anche in questo caso è preferibile mantenere quella rettangolare; le dimensioni, di conseguenza, rimangono le stesse già stabilite durante lo studio funzionale preliminare, ovvero 53 m in lunghezza e 44 m in larghezza.

Determinati gli aspetti geometrici del progetto, occorre a questo punto stabilire l'altezza delle torri faro da installare. Avendo fissato la quota della piazzola de-icing a 279,80 m, ma non alterando la quota del terreno nei punti di installazione delle torri, queste possono essere collocate fino ad un'altezza massima di 12 e 13,5 m, rispettivamente a nord e sud della piazzola, come mostrato in Figura 68.

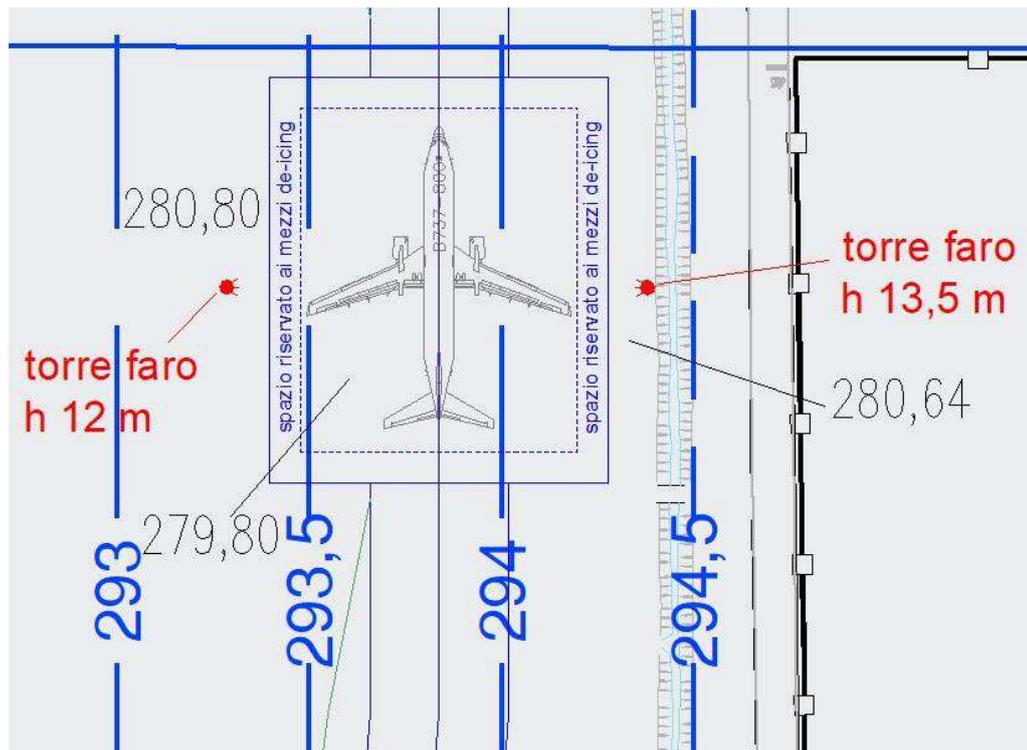


Figura 68: installazione delle torri faro

La torre faro “lato nord” può raggiungere al massimo la quota di 293,25 m, per non interferire con la superficie di avvicinamento. Poiché la quota del terreno è di circa 280,80 m, realizzando una torre faro di 12 m si raggiungerebbe quota 292,80 m, e quindi circa 13 m più in alto rispetto alla piazzola de-icing. La torre faro “lato sud”, invece, può raggiungere al massimo la quota di 294,25 m. Essendo la quota del terreno pari a 280,64 m, realizzando una torre faro di 13,5 m, si raggiungerebbe la quota di 294,14 m, circa 14 m più in alto rispetto alla piazzola de-icing. L’illuminazione risultante, a differenza dell’ipotesi precedente, è sufficiente a garantire la completa visibilità di ogni parte dell’aereo.

Bisogna, infine, prevedere barriere anti jet-blast ove necessario. Nell’ipotesi in oggetto, viene scelto di posizionare una barriera anti jet-blast nei pressi del primo raccordo curvo, in modo da proteggere dal getto degli aerei i veicoli in transito sulla strada perimetrale. Devono essere chiaramente rispettati i 26 m di distanza di sicurezza tra l’asse della taxiway e qualsiasi oggetto fisso o mobile: per questo motivo, le barriere vengono posizionate a 26,5 m di distanza dall’asse della taxiway (Figura 69). Nei pressi del secondo raccordo curvo, invece, non è possibile installare barriere anti jet-blast, in quanto l’area fa parte della futura RESA 18, che sarà espansa entro la fine del 2018 dalle dimensioni attuali di 120x150 m alle dimensioni di 240x150 m. All’interno della RESA non possono essere presenti, al fine di garantire la completa sicurezza degli aeromobili in atterraggio dalla pista 18, ostacoli non facilmente frangibili in caso di emergenza. Con il nuovo progetto di ampliamento della RESA, tuttavia, è previsto anche lo

spostamento della strada perimetrale, che verrebbe traslata a sud. Non è necessario, dunque, prevedere barriere anti jet-blast nella zona ad est della piazzola de-icing.

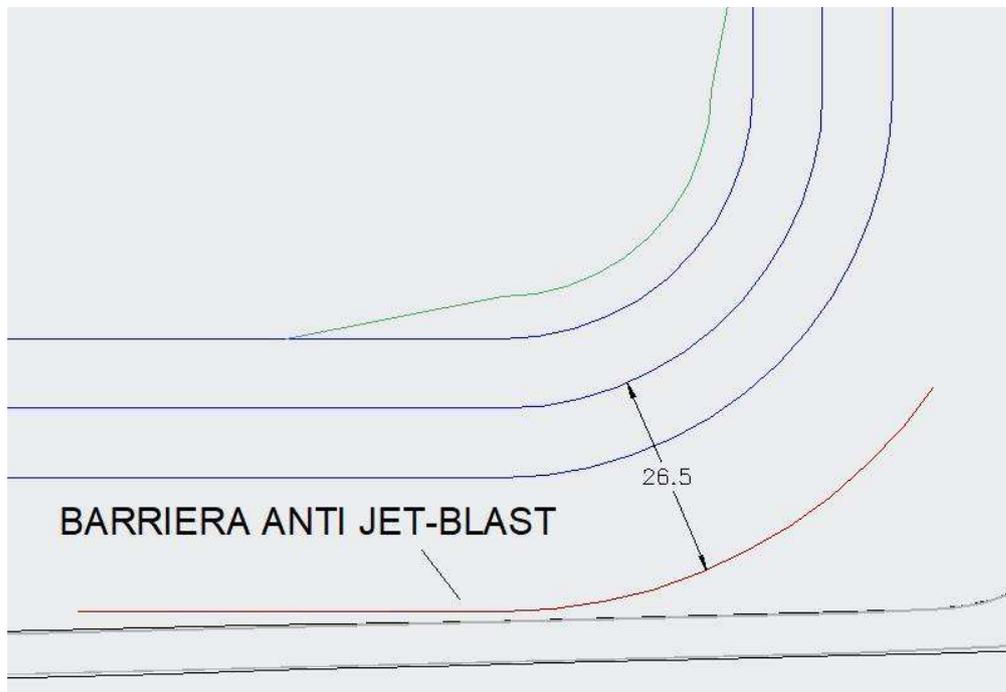


Figura 69: collocazione delle barriere anti jet-blast

Il progetto completo, secondo la terza ipotesi, viene presentato in allegato in TAV.4, TAV.5 e TAV. 6.

5. STUDIO STRUTTURALE

Per studio strutturale si intende la progettazione degli spessori della sovrastruttura sia della piazzola de-icing, dove verranno effettuate le operazioni, sia delle taxiway destinate a collegare le aree di parcheggio alla piazzola e la piazzola alla pista di decollo.

Per quanto riguarda la progettazione strutturale della piazzola de-icing, occorre verificare quale materiale sia più idoneo per la costruzione della stessa, e quindi decidere se realizzarla in conglomerato bituminoso o in calcestruzzo. A tal fine, verranno studiati i casi di alcuni aeroporti in Italia e Nord Europa ed esaminati alcuni studi teorici realizzati da esperti nel settore circa l'effetto dei fluidi de-icing sulle pavimentazioni. Per quanto riguarda le città prese come esempio, verranno analizzate anche le condizioni climatiche, in quanto la temperatura risulta essere un fattore importante per la decisione del tipo di pavimentazione da realizzare. Vengono dunque fornite anche le temperature massime e minime, medie, per mese della città di Torino, mostrate in Tabella 20.

Torino	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Min [°C]	-3	-1	3	6	10	14	17	17	13	7	2	-2
Max [°C]	7	9	13	17	21	25	28	27	23	17	11	8

Tabella 20: temperature della città di Torino

Nell'ambiente aeronautico è assai più comune che venga realizzata in pavimentazione rigida, ossia in calcestruzzo; tuttavia esistono alcuni casi di piazzola de-icing in progetto in pavimentazione flessibile/semi-rigida.

5.1 SOVRASTRUTTURA DELLE PIAZZOLE DE-ICING IN EUROPA

AEROPORTO DI PRAGA (PRG)

Nell'aeroporto di Praga è presente una piazzola dedicata alle operazioni di de-icing (Figura 70), realizzata in calcestruzzo. Nel 2016 hanno viaggiato per l'aeroporto 13 milioni di passeggeri, volume decisamente più elevato di Torino. Inoltre, le temperature nella città ceca sono più rigide, come si può notare dalla Tabella 21.

Praga	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Min [°C]	-5	-4	-1	3	7	11	12	12	9	4	0	-3
Max [°C]	0	3	8	13	18	21	23	23	19	13	6	2

Tabella 21: temperature della città di Praga



Figura 70: piazzola de-icing dell'Aeroporto di Praga

AEROPORTO DI AMSTERDAM (AMS)

Nell'aeroporto di Amsterdam è presente un'area dedicata alle operazioni di de-icing, realizzata in pavimentazione rigida (Figura 71). Il volume di passeggeri dell'aeroporto è decisamente più alto di quello di Torino, e le temperature medie della città sono esposte in Tabella 22.



Figura 71: piazzola de-icing dell'Aeroporto di Amsterdam

Amsterdam	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Min [°C]	0	0	2	4	8	10	12	12	10	7	4	1
Max [°C]	5	5	8	12	16	19	21	21	18	14	9	6

Tabella 22: temperature della città di Amsterdam

AEROPORTO DI VENEZIA (VCE)

Nell'aeroporto di Venezia è presente una piazzola dedicata alle operazioni di de-icing, realizzata in calcestruzzo (Figura 72). L'aeroporto conta più di 9 milioni di passeggeri annui ed il clima è paragonabile a quello di Torino.



Figura 72: piazzola de-icing dell'Aeroporto di Venezia

AEROPORTO DI MILANO LINATE (LIN)

Attualmente nell'aeroporto di Milano Linate sono operative due piazzole in calcestruzzo destinate alle operazioni di de-icing, poste nel Piazzale Nord (Figura 73).

È in progetto, tuttavia, come mostrato in Figura 74, la realizzazione di nuove piazzole destinate alle operazioni di de-icing per far fronte all'elevato numero di movimenti in partenza che si verificano nell'aeroporto durante le ore di punta, in particolar modo nelle prime ore del mattino, e per mantenere un'ampia disponibilità di aree di sosta. Le pavimentazioni di nuova esecuzione verranno realizzate con conglomerati bituminosi ad "alto modulo" confezionati con l'impiego di bitumi modificati di adeguate caratteristiche.

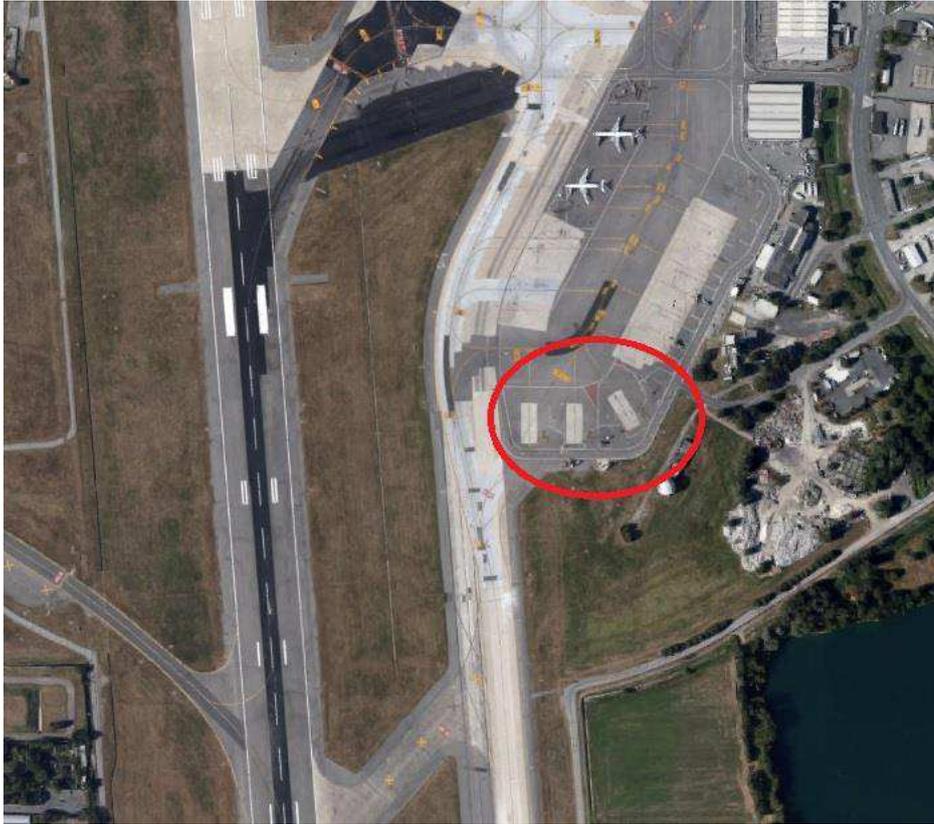


Figura 73: Piazzola de-icing dell'Aeroporto di Milano-Linate



Figura 74: futura piazzola de-icing dell'Aeroporto di Milano Linate

5.2 EFFETTI DEI PRODOTTI DE-ICING SULLE PAVIMENTAZIONI

Analizzati i casi singoli di altri aeroporti, viene posta ora l'attenzione sull'aspetto teorico del problema, ossia l'individuazione di possibili problemi di interazione tra i liquidi de-icing e le pavimentazioni: verranno dunque citati alcuni studi sull'argomento.

Il fluido utilizzato per le operazioni di de-icing degli aeromobili all'aeroporto di Torino è a base di glicole propilenico (il più comunemente usato per le operazioni sugli aeromobili).

Tra i vari studi analizzati, particolarmente interessante e significativo appare quello condotto dall'“Innovative Pavement Research Foundation” dal titolo “Design and Construction of Concrete Pavement for Aircraft De-icing Facilities”, relativo dunque a piazzole de-icing con pavimentazioni in calcestruzzo.

In questa indagine vengono studiate le cause di degrado della pavimentazione della piazzola de-icing di nove aeroporti nordamericani, e viene verificato se i problemi osservati siano da imputarsi all'utilizzo dei fluidi de-icing o meno.

Lo studio dimostra come i liquidi a base di glicole non siano direttamente coinvolti nei fenomeni di danneggiamento delle pavimentazioni, ma che, indirettamente, possano contribuire ad alcuni problemi verificatisi nelle pavimentazioni. Infatti, come afferma lo studio:

- il danneggiamento del calcestruzzo non è causato dall'utilizzo dei prodotti de-icing: non vi è evidenza, infatti, di affermare che l'utilizzo di prodotti a base di glicole contribuisca direttamente alla degradazione chimica e microbica della pavimentazione; indirettamente, l'utilizzo di tali prodotti potrebbe causare infiltrazione di idrossido di calcio nei vuoti presenti;
- i problemi più comuni riscontrati nel calcestruzzo sono, in generale, associati ad uno scarso posizionamento, consolidamento, finitura e cura. Nei casi osservati, il calcestruzzo manca di uniformità non solo in punti differenti, ma anche dalla cima al fondo della lastra superficiale;
- il limite massimo di 0,2 mm per quanto riguarda il fattore di spaziatura massimo della miscela di calcestruzzo, specificato in “ASTM C457”, spesso non è stato rispettato. Si ritiene che lo scarso sistema dei vuoti contribuisca al degrado non solo in determinati punti osservati ma anche in tutti gli strati della pavimentazione. Sembra plausibile, inoltre, che l'uso intensivo di prodotti de-icing a base di glicole possa contribuire al danno fisico dovuto ai cicli gelo-disgelo a causa dell'aumento della pressione osmotica, shock termico e aumento della saturazione del calcestruzzo. Di conseguenza, il controllo dei vuoti della pavimentazione è fondamentale per ottenere buone prestazioni della pavimentazione;
- la reazione alcali-silice è stata osservata in alcuni campioni di tre delle nove pavimentazioni analizzate; tuttavia, tale reazione non può essere riconosciuta come motivo dei fenomeni di degrado esaminati;

- in generale, un migliore “mix design” e consolidamento, l’utilizzo di materiale cementizio di qualità superiore e l’applicazione immediata di membrane polimeriche limiterebbe o prevenirebbe i problemi riscontrati.

Le carenze osservate, in conclusione, sono da imputarsi ad una non ottimale realizzazione della piazzola in termini costruttivi e non all’applicazione dei prodotti de-icing.

Per quanto riguarda le pavimentazioni in conglomerato bituminoso, invece, importanti considerazioni derivano dall’analisi di una relazione tecnica del 2015 svolta dall’“Asphalt Institute” intitolata “De-Icing/Anti-Icing Agents and their effects on Airfield Asphalt Pavements”.

Nella relazione, viene analizzato il comportamento a rottura dei conglomerati bituminosi sotto l’azione di concentrazioni variabili di glicole: quello che si può osservare è una riduzione di carico a rottura per concentrazioni di glicole più elevate, come mostrato in Figura 75.

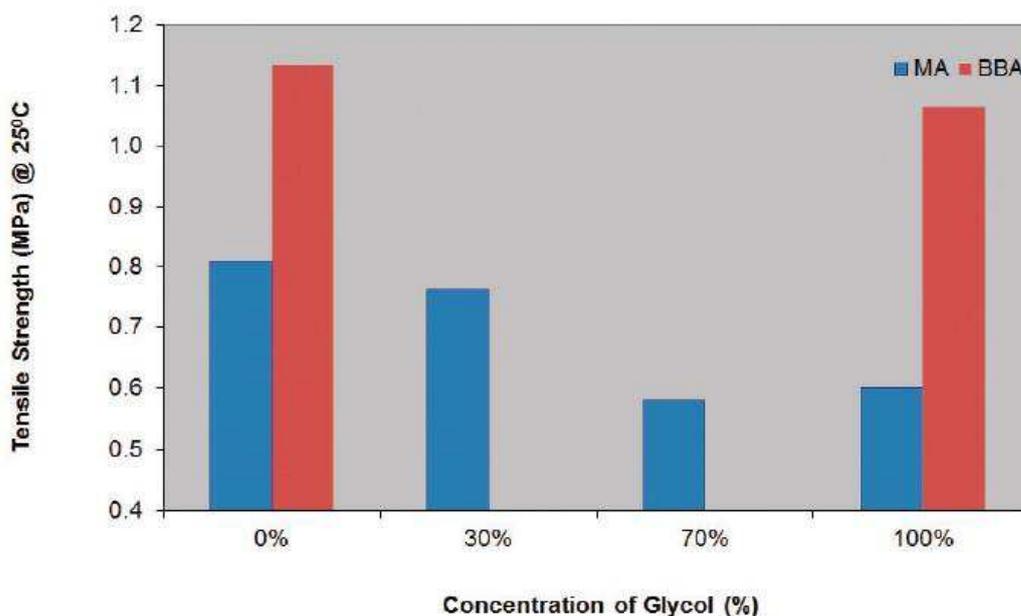


Figura 75: interazione tra prodotti a base di glicole e carico a rottura del conglomerato bituminoso

Lo studio elenca i meccanismi di danneggiamento causati dall’interazione dei liquidi de-icing con l’infrastruttura in conglomerato bituminoso. Infatti, tali prodotti:

- possono causare un rammollimento dei leganti bituminosi, diminuendo la loro rigidità e resistenza, nonché accrescere lo sviluppo di ulteriori forme di degrado, come il danno da spogliamento: quest’ultimo effetto sembra essere più pronunciato con bitumi soffici;

- avendo alta densità e bassa tensione superficiale, penetrano facilmente negli strati sottostanti della pavimentazione;
- possono accelerare il danno da spogliamento a causa della loro natura igroscopica, che permette che le pavimentazioni in conglomerato bituminoso trattengano l'umidità per periodi di tempo più lunghi;
- potrebbero ridurre la resistenza degli aggregati per quanto riguarda il danno dovuto ai cicli alternati di umidità/seccatura e gelo/disgelo;
- potrebbero accelerare l'invecchiamento delle pavimentazioni;
- possiedono un valore elevato di pH; valori elevati di pH sono considerati uno svantaggio per l'adesione tra bitume e aggregato e potrebbero inoltre causare dissolvimento di minerali, come il silicio, sulla superficie.

Alla luce delle considerazioni di cui sopra, si è ritenuto preferibile realizzare la piazzola de-icing in calcestruzzo.

Un ulteriore aspetto da considerare che convalida ulteriormente la scelta, è rappresentato dal fatto che il carburante degli aeromobili, il kerosene, è un potente solvente del bitume. La piazzola de-icing non verrà interessata da operazioni di rifornimento; tuttavia, sono già accaduti in passato incidenti tra i mezzi adibiti alle operazioni di de-icing e parti dell'aeromobile; tali incidenti potrebbero potenzialmente causare sversamento di carburante sulla pavimentazione, e ciò comporterebbe spese aggiuntive per la riparazione della stessa.

In conclusione, il progetto prevede la realizzazione delle taxiway parcheggi-piazzola e piazzola-pista in conglomerato bituminoso, come è solito per tutte le taxiway, mentre la piazzola de-icing verrà realizzata in calcestruzzo.

5.3 DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

Per quanto riguarda il dimensionamento strutturale, e quindi lo studio degli spessori dei vari pacchetti, sia in conglomerato bituminoso che in calcestruzzo, è stato utilizzato il software "FAARFIELD" (Figura 76) messo a punto dalla "Federal Aviation Administration".

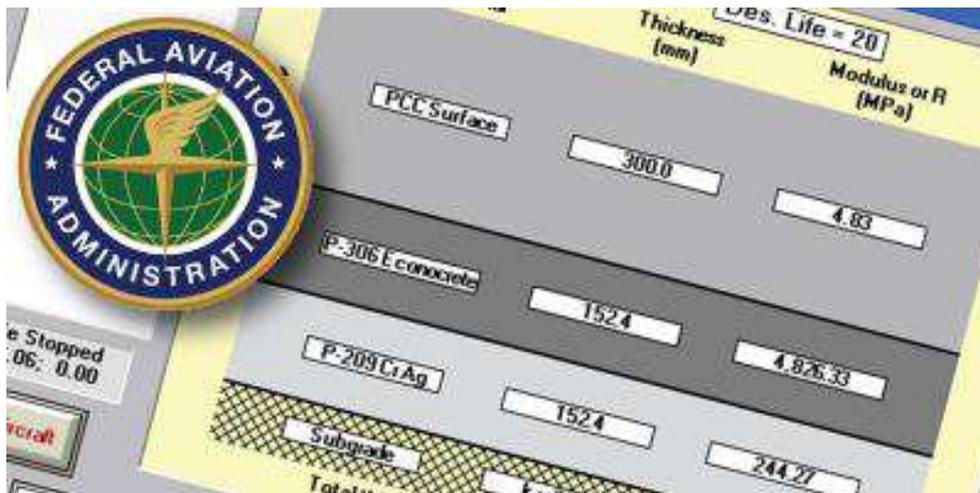


Figura 76: il software "FAARFIELD"

Il software è specifico per le infrastrutture aeroportuali e permette di calcolare gli spessori dei vari strati dell'infrastruttura. Per far ciò, vengono utilizzate le teorie del multistrato elastico (LEAF) e degli elementi finiti (3D-FEM); in particolare, per quanto riguarda le pavimentazioni flessibili, viene usata la teoria del multistrato elastico per tutti i calcoli strutturali, mentre per quanto riguarda le pavimentazioni rigide, un primo dimensionamento viene effettuato con la teoria del multistrato elastico e per le iterazioni finali viene utilizzato il metodo degli elementi finiti.

Il software dispone di due finestre principali che riportano dati, "Structure Window" e "Aircraft Window". Nella prima vengono visualizzati gli elementi strutturali della pavimentazione in progetto, ovvero, per ogni suo strato, il tipo, lo spessore e il modulo elastico del materiale e, per il terreno di sottofondo, l'indice CBR o costante di reazione k . Nella seconda vi sono i dati dell'intera flotta dei velivoli in partenza dall'aeroporto: è necessario inserire, dunque, da un ampio elenco disponibile in libreria, il nome degli aeromobili, il relativo peso lordo, il numero delle partenze annuali ed un eventuale tasso di crescita annuale. Il software considera solo le partenze e non gli arrivi, in quanto solitamente gli aerei che atterrano sono caratterizzati da un peso minore rispetto a quelli che decollano. La Figura 77 mostra l'interfaccia dell'"Aircraft Window" del software.

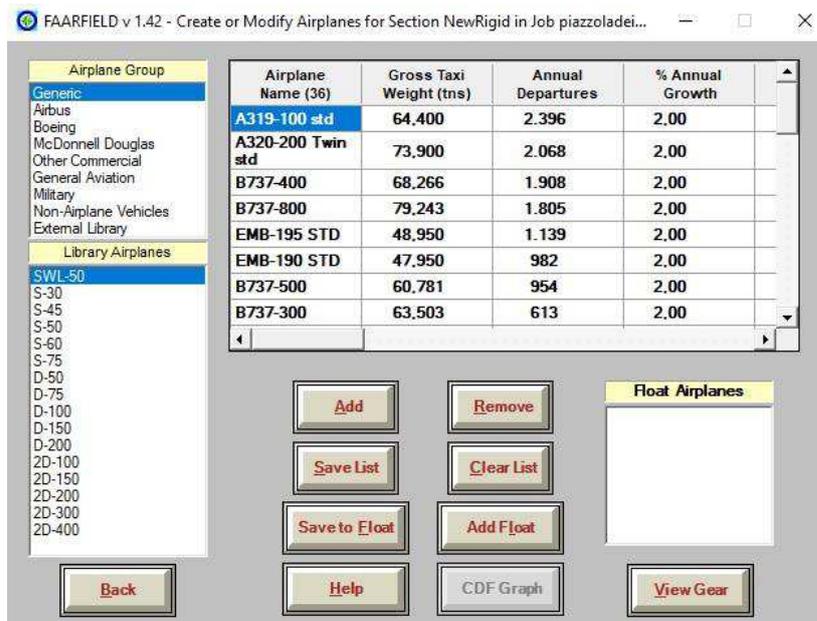


Figura 77: interfaccia "Aircraft Window"

“FAARFIELD” è basato sul concetto del “Cumulative Damage Factor” (CDF), secondo il quale il contributo di ogni singolo aeromobile di una data flotta è analizzato separatamente per il calcolo del danno totale sulla pavimentazione che porta a rottura per fatica. In particolare, l’indice CDF è calcolato come:

$$CDF = \sum_i^M \frac{n_i}{N_i}$$

- n_i rappresenta il numero di carichi applicati sull’infrastruttura dall’i-esimo aeromobile;
- N_i rappresenta il numero di passaggi tollerabili dall’infrastruttura dall’i-esimo aeromobile, prima della rottura per fatica;
- M rappresenta il numero totale di aeromobili nella flotta.

Se il valore del CDF è minore di 1, la pavimentazione ha ulteriore vita utile rimanente, se il valore è uguale a 1, la pavimentazione ha raggiunto la sua vita a fatica e se il valore è maggiore di 1, la pavimentazione ha superato la sua vita a fatica. Proprio perché il software considera il danno arrecato da ogni singolo aeromobile, è importante usare come input l’intera flotta dei velivoli e non solamente l’aereo critico. “FAARFIELD” fa riferimento, per ogni tipo di aeromobile, al peso massimo al decollo (MTOW), dimensionando dunque le pavimentazioni in favore di sicurezza, in quanto negli aeroporti solitamente si opera a pesi inferiori rispetto al massimo consentito.

“FAARFIELD”, quindi, è in grado di calcolare la vita utile rimanente di una pavimentazione esistente oppure progettare una nuova pavimentazione per una vita utile stabilita a priori, solitamente 20 anni.

Nello studio preliminare, è stato stabilito che la piazzola de-icing venga progettata per ospitare aeromobili di classe ICAO C. Occorre a questo punto determinare la flotta da inserire come database nel software: non è necessario inserire ogni singolo velivolo, in quanto il programma limita la scelta della flotta ad un massimo di 40 aerei. Solitamente vi è infatti un limitato numero di aerei che contribuiscono a circa tutto il CDF. Sono state, dunque, effettuate delle scelte per la composizione della flotta:

- sono stati considerati i dati degli aerei in partenza dall'aeroporto in tutto l'anno 2016;
- sono stati esclusi tutti i velivoli di classe ICAO A, in quanto ritenuti poco o per nulla impattanti sull'infrastruttura;
- sono stati esclusi, come già annunciato, tutti gli aeromobili di classe D, E ed F, in quanto la piazzola non viene dimensionata per tali classi di aerei;
- sono stati inclusi nella flotta gli aerei di classe C e B con il maggior numero di partenze annuali (più di 40); gli aeromobili di classe C risultano essere quelli con il maggior numero di partenze annuali, con il valore massimo di 3443 partenze nel 2016 del modello “Boeing 737-800” (“standard” e “winglets” considerati congiuntamente);
- in limitati casi nella libreria del software non era presente il modello esatto corrispondente a quello in partenza da Torino; in tali casi è stato inserito il tipo di velivolo considerato più affine a quello reale, con eventuale correzione di peso massimo al decollo; è possibile dunque trovare nella libreria del software più volte lo stesso tipo di aeromobile, che si riferisce tuttavia a due aerei differenti, come nel caso del “Boeing 737-800 standard” e “winglets”, riconosciuti da “FAARFIELD” semplicemente come B737-800. Gli aerei che sono stati introdotti nella libreria del software tramite aeromobili equivalenti e/o con pesi eventualmente corretti sono contrassegnati Tabella 23 con (*).

Considerati tutti gli aspetti soprastanti, la flotta scelta ed inserita nel database del software è mostrata in Tabella 23.

NUMERO	MODELLO AEREO	CODICE IATA	CLASSE ICAO	PARTENZE 2016
1	A319-100	319	C	2396
2	A320-200	320	C	2068
3	BOEING 737-400	734	C	1908
4	BOEING 737-800 STANDARD	738	C	1805
5	BOEING 737-800 WINGLETS (*)	73H	C	1638
6	CANADAIR REGIONAL JET 900 (*)	CR9	C	1163
7	EMBRAER ERJ-195	E95	C	1139
8	BRITISH AEROSPACE 146	AR8	C	1067
9	EMBRAER ERJ-190	E90	C	982
10	BOEING 737-500	735	C	954
11	BOEING 737-300	733	C	613
12	BOEING 717	717	C	525
13	EMBRAER ERJ-175	E75	C	406
14	CANADAIR REGIONAL JET 1000 (*)	CRK	C	402
15	MCDONNELL DOUGLAS MD80 (*)	M80	C	235
16	A321-200	321	C	206
17	BOEING 737-700	73G	C	180
18	FOKKER F70 (*)	F70	C	125
19	DASH 8Q (*)	DH4	C	104
20	CANADAIR REGIONAL JET 1000 NG (*)	CRJX	C	76
21	MCDONNELL DOUGLAS MD82 (*)	M82	C	74
22	DASSAULT FALCON 7X (*)	FA7X	C	72
23	CANADAIR GLOBAL EXPRESS (*)	GLEX	C	69
24	AVRO RJ70 (*)	ARJ	C	42
25	EMBRAER ERJ-170	E70	C	40
26	SAAB 340B	SF3	B	333
27	HAWKER-800	H25B	B	173
28	EMBRAER ERJ-145	E145	B	118
29	CESSNA CITATION V	C560	B	99
30	DASSAULT FALCON 900	F900	B	83
31	DASSAULT FALCON 2000	F2TH	B	79
32	CESSNA CITATION EXCEL (*)	C56X	B	68
33	REGIONAL JET 200	CRJ	B	65
34	CITATION 550-B	C550	B	47
35	EMBRAER PHENOM 300 (*)	E55P	B	42
36	EMBRAER ERJ-145	ER4	B	41

Tabella 23: flotta di aeromobili scelta per il dimensionamento della sovrastruttura

“FAARFIELD” fornisce la possibilità, inoltre, di stabilire un indice di crescita annuale del numero delle partenze per tipo di aeromobile. Analizzando i dati di crescita dell’Aeroporto di Torino, si nota come il numero di partenze per tipo di aeromobile sia un dato instabile di anno in anno; non è possibile, dunque, definire un indice di crescita costante per ciascun tipo di aereo. Si riporta a titolo

di esempio la Tabella 24, contenente il numero di partenze dei 10 modelli di aeromobile con più traffico nell'aeroporto di Torino, e il relativo indice di crescita dal 2015 al 2016.

NUMERO	MODELLO AEREO	CODICE IATA	CLASS. ICAO	PARTENZE 2015	PARTENZE 2016	CRESCITA [%]
1	A319-100	319	C	1628	2396	47,2
2	A320-200	320	C	2733	2068	-24,3
3	BOEING 737-400	734	C	1091	1908	74,9
4	BOEING 737-800 STANDARD	738	C	3077	1805	-41,3
5	BOEING 737-800 WINGLETS (*)	73H	C	220	1638	644,5
6	CANADAIR REGIONAL JET 900 (*)	CR9	C	429	1163	171,1
7	EMBRAER ERJ-195	E95	C	1050	1139	8,5
8	BRITISH AEROSPACE 146	AR8	C	1312	1067	-18,7
9	EMBRAER ERJ-190	E90	C	782	982	25,6
10	BOEING 737-500	735	C	648	954	47,2

Tabella 24: indici di crescita delle partenze dell'Aeroporto di Torino-Caselle

Da come si può osservare, la percentuale di crescita calcolata dal 2015 al 2016 non può essere ritenuta un dato affidabile per stabilire l'indice di crescita annuale, in quanto tali percentuali risultano essere, in valore assoluto, troppo elevate. Si potrebbe pensare, quindi, di attribuire un indice di crescita uguale per ogni tipo di aeromobile, in linea con la variazione del numero di movimenti dell'aeroporto di Torino; tuttavia, anche tale variazione risulta essere profondamente variabile di anno in anno, in alcuni casi positiva ed in altri negativa, da come si può riscontrare in Tabella 25.

ANNO	MOVIMENTI	CRESCITA [%]
2000	61.971	
2001	64.885	4,7%
2002	59.931	-7,6%
2003	54.710	-8,7%
2004	57.847	5,7%
2005	56.890	-1,7%
2006	60.838	6,1%
2007	62.136	2,1%
2008	58.148	-6,4%
2009	56.419	-3,0%
2010	54.840	-2,8%
2011	54.541	-0,5%
2012	51.773	-5,1%
2013	43.655	-15,7%
2014	42.463	-2,7%
2015	44.214	4,1%
2016	46.472	5,0%

Tabella 25: movimenti dell'Aeroporto di Torino-Caselle per anno

Di conseguenza, viene scelto di attribuire al numero di partenze un indice di crescita costante arbitrario del 2%, ponendosi così sicuramente in favore di sicurezza.

Una volta creata la flotta, è necessario inserire i dati strutturali. "FAARFIELD" fornisce come output il solo spessore della lastra in calcestruzzo per quanto riguarda le pavimentazioni rigide, e lo spessore dello strato di base, di misto cementato o di misto granulare per quanto riguarda le pavimentazioni flessibili; per far ciò, è necessario assegnare al software i dati e gli spessori degli ulteriori strati di sovrastruttura. Relativamente alla pavimentazione in calcestruzzo della piazzola, è necessario fornire le caratteristiche del misto cementato e/o misto granulare che si vuol utilizzare (tipo, spessore e modulo elastico) e le caratteristiche del terreno di sottofondo (costante di reazione k e modulo elastico). Relativamente alla pavimentazione in conglomerato bituminoso, è necessario fornire le caratteristiche dello strato superficiale in HMA, "hot asphalt mixture", (spessore e modulo elastico) e le caratteristiche e/o spessori della base, del misto cementato e/o del misto granulare, in aggiunta alle caratteristiche del terreno di sottofondo, utilizzando però come indici il CBR ed il modulo elastico.

L'indice CBR, la costante di reazione k ed il modulo elastico del terreno sono legati nel software tramite le seguenti relazioni:

$$E = 10,342 \cdot CBR$$

$$E = 0,741 \cdot k^{1,284}$$

$$CBR = 0,0716 \cdot k^{1,284}$$

con E in MPa e k in $\frac{MN}{m^3}$. In passato sono già state effettuate indagini di campo sulle proprietà del terreno dalle quali si può assegnare al sottofondo un indice CBR pari a 10, da cui si può stimare un modulo elastico pari a 103,42 MPa e una costante elastica k pari a $46,8 \frac{MN}{m^3}$.

Nel software è inoltre presente un database (Figura 78) con i tipi di materiali da utilizzare per ogni strato della pavimentazione, con moduli elastici già impostati e non modificabili.

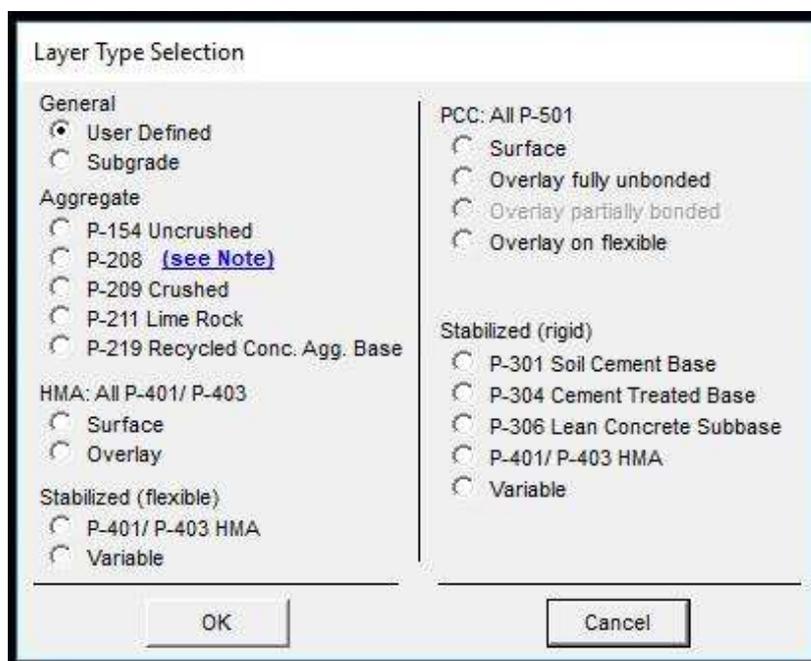


Figura 78: scelta dei tipi di materiali da utilizzare in "FAARFIELD"

La scheda "Aggregate" contiene i misti granulari da poter utilizzare come fondazione, le schede "HMA" e "PCC" i materiali da poter impiegare come strato superficiale rispettivamente per pavimentazione in conglomerato bituminoso e in calcestruzzo, le schede "Stabilized (flexible)" e "Stabilized (rigid)" i misti granulari stabilizzati a bitume e cemento. Per i dettagli tecnici di ogni materiale, è stata consultata la "AC 150/5370-10G", nella quale vengono descritti tutti i tipi di materiali, le relative composizioni e tecniche di posa e controllo.

Per il dimensionamento, nel caso di pavimentazione rigida, il parametro critico che il software considera è il carico di rottura al fondo della lastra in calcestruzzo, mentre nel caso di pavimentazione flessibile vengono analizzati il carico di rottura nello strato in conglomerato bituminoso e la resistenza a compressione del sottofondo, con quest'ultima più critica per la maggior parte dei casi.

5.3.1 DIMENSIONAMENTO SOVRASTRUTTURA DELLA PIAZZOLA DE-ICING

Per effettuare il dimensionamento in oggetto, occorre stabilire la composizione della sovrastruttura da assegnare come input al software. Come già citato precedentemente, "FAARFIELD" fornisce come output il solo spessore della lastra in calcestruzzo, con modulo elastico predefinito. Trattandosi di una pavimentazione rigida, verrà utilizzata la classica struttura schematizzata in Figura 79.

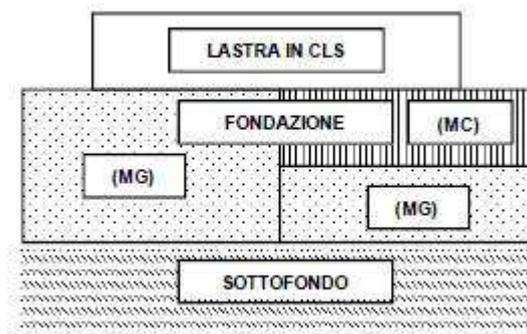


Figura 79: struttura tipica di una pavimentazione rigida

Lo strato di fondazione può essere costituito alternativamente da solo misto granulare, oppure da misto cementato in combinazione con misto granulare. La pavimentazione verrà dunque predimensionata portando avanti queste due differenti ipotesi e verrà scelta la soluzione ritenuta più adatta alle esigenze.

Come espresso nel paragrafo 3.6 della circolare "AC 150/5320-6F" che reca le linee guida per il progetto e la valutazione di pavimentazione in ambito aeroportuale, è consigliata la presenza di materiale stabilizzato nel caso in cui la pavimentazione debba sopportare carichi di aerei con pesi lordi maggiori di 100.000 libbre (45.359 kg). È inoltre richiesta la presenza di misto granulare ove il sottofondo abbia valore di CBR minore di 20.

Nella circolare vengono inoltre consigliati materiali da utilizzare e stabiliti gli spessori minimi dei vari strati per quanto riguarda le pavimentazioni rigide, come mostrato in Figura 80.

Layer Type	FAA Specification Item	Maximum Airplane Gross Weight Operating on Pavement, lbs (kg)		
		<12,500 (5,670)	< 100,000 (45,360)	≥ 100,000 (45,360)
PCC Surface	P-501, Portland Cement Concrete (PCC) Pavements	5 in. (125 mm)	6 in. (150 mm) ¹	6 in. (150 mm) ¹
Stabilized Base	P-401 or P-403; P-304; P-306	Not Required	Not Required	5 in. (125 mm)
Base	P-208, P-209, P-211, P-301	Not Required	6 in. (150 mm) ²	6 in. (150 mm)
Subbase ^{3,4}	P-154, Subbase Course	4 in. (100 mm)	As needed for frost or to create working platform	As needed for frost or to create working platform

Notes:

1. FAARFIELD thickness to be rounded to the nearest 0.5 inch (10 mm).
2. For pavements for aircraft greater than 30,000 lbs (13,610 kg), base may be replaced with subbase.
3. Subbase layer is required for pavements designed for gross loads of 12,500 pounds (5,670 kg) or less only when the following soil types are present: OL, MH, CH, or OH.
4. The following specification items may also be used as subbase: P-208, Aggregate Base Course; P-209, Crushed Aggregate Base Course; P-211, Lime Rock Base Course; P-219 Recycled Concrete Aggregate Base Course; P-301, Soil-Cement Base Course. If more than one layer of subbase is used, each layer should meet the minimum thickness requirement in this table.

Figura 80: spessori minimi da utilizzare per pavimentazione in calcestruzzo

La pavimentazione, secondo la prima ipotesi di assenza di strato in misto cementato, risulta essere composta da:

- lastra in calcestruzzo (PCC) con modulo elastico 27.579 MPa;
- 15 cm di strato in misto granulare: per questo strato si possono scegliere alternativamente le tipologie di materiali contrassegnati con le sigle P-208 (aggregato fino), P-209 (pietrisco) e P-211 (pietre calcaree). L'utilizzo del P-208 viene sconsigliato in caso di transiti di aeromobili con peso superiore a 27.000 kg. La scelta finale ricade dunque tra P-209 e P-211. I requisiti e le caratteristiche del primo sono legate sostanzialmente alla curva granulometrica, che deve avere le caratteristiche espresse in Tabella 26, secondo l'AC 150/5370-10G".

DIMENSIONE SETACCIO [mm]	PERCENTUALE PASSANTE IN PESO [%]
50	100
38	95-100
25	70-95
19	55-85
4,75	30-60
0,45	10-30
0,075	0-8

Tabella 26: analisi granulometrica del misto granulare P-209

Inoltre, come condizione aggiuntiva, la frazione di materiale passante al setaccio di 0,075 mm non deve eccedere metà di quella passante al setaccio di 0,45 mm,

e la percentuale di materiale più fino di 0,02 mm non deve essere superiore al 2%. I requisiti del P-211, misto in pietre calcaree, invece, rispondono più a caratteristiche stabilite per evitare possibili fenomeni di degradazione di natura chimica. In particolare, il materiale deve contenere non meno del 70% di carbonati di calcio e magnesio, non più del 2% di ossidi di ferro e alluminio, e la quantità combinata di carbonati, ossidi e silice non deve risultare inferiore al 97%; anche per quanto riguarda il misto in pietre calcaree è presente una curva granulometrica generale di riferimento, con requisiti riguardanti solamente due dimensioni di setacci (Tabella 27).

DIMENSIONE SETACCIO [mm]	PERCENTUALE PASSANTE IN PESO [%]
90	100
19	50-100

Tabella 27: analisi granulometrica del misto granulare P-211

In base a ciò, ritenute le condizioni riguardanti le dimensioni delle varie frazioni all'interno del misto di maggior importanza, viene scelto di realizzare lo strato in misto granulare con P-209 (pietrisco), il quale risulta disporre di una curva granulometrica sufficientemente continua e che permette dunque di creare un adeguato contatto tra i grani. Inoltre, il materiale non possiede una quantità eccessiva di frazione fine, che fornisce spesso problemi per quanto riguarda la compattazione;

- ulteriore strato in misto granulare P-154, composto da frammenti di materiale granulare amalgamati con sabbia fine, argilla, polvere di pietra e filler, utilizzato come protezione dal gelo e posa degli strati soprastanti; viene imposto lo spessore di 15 cm;
- strato di sottofondo, con le caratteristiche del terreno già caratterizzate in passato, ovvero costante elastica $k 46,8 \frac{MN}{m^3}$ e modulo elastico 103,42 MPa.

In base alla seconda ipotesi, invece, la pavimentazione risulta essere così composta:

- lastra in calcestruzzo (PCC) con modulo elastico 27.579 MPa;
- 15 cm di strato in misto cementato: per questo strato si possono scegliere alternativamente materiali bituminosi (P-401/P-403) oppure cementizi (P-304/P-306). Volendo evitare interazioni tra i prodotti per le operazioni di de-icing e conglomerati bituminosi, i primi vengono esclusi; viene scelto di utilizzare come misto cementato il P-304 "Cement Treated Base", in quanto il P-306 "Lean Concrete Subbase" corrisponde a quello che viene comunemente chiamato massetto in calcestruzzo, e viene ritenuto inopportuno il suo utilizzo in questo caso. Gli aggregati lapidei impiegati per il

P-304 devono rispondere a caratteristiche note: infatti, come citato nelle linee guida, “il materiale deve presentarsi senza radici, terra o erba. L’aggregato deve consistere di particelle resistenti, durabili e di qualità garantita, senza un eccesso di pezzature tenere, piatte, allungate o disgregate”. La curva granulometrica dell’aggregato deve inoltre rispondere alle caratteristiche di una delle due graduazioni presentate in Tabella 28.

DIMENSIONE SETACCIO [mm]	GRADUAZIONE I PERCENTUALE PASSANTE IN PESO [%]	GRADUAZIONE II PERCENTUALE PASSANTE IN PESO [%]
50	100	100
4,75	45-100	55-100
1,80	37-80	45-100
0,45	15-50	25-80
0,21	0-25	10-35

Tabella 28: analisi granulometrica dell’aggregato utilizzato nel P-304

Inoltre, la porzione dell’aggregato passante il setaccio da 425 µm deve avere un limite liquido non più grande di 25 e un indice di plasticità non maggiore di 6.

Per quanto riguarda il cemento, il suo contenuto deve essere tale che il misto, testato in laboratorio, produca una resistenza a compressione dopo 7 giorni compresa tra 2.758 kPa e 5.516 kPa. La resistenza dopo 28 giorni non deve invece eccedere 6.895 kPa;

- strato in misto granulare P-154, composto da frammenti di materiale granulare amalgamati con sabbia fine, argilla, polvere di pietra e filler, utilizzato come protezione dal gelo e posa degli strati soprastanti; viene imposto lo spessore di 15 cm;
- strato di sottofondo, con le caratteristiche del terreno già caratterizzate in passato, ovvero costante elastica k $46,8 \frac{MN}{m^3}$ e modulo elastico 103,42 MPa.

La pavimentazione, in entrambe le ipotesi, viene progettata per una vita utile di 20 anni e lo spessore di primo tentativo imposto alla lastra è di 35 cm. Tale valore verrà modificato una volta che viene chiesto al programma di progettare la sovrastruttura per la flotta di aerei assegnata. La sovrastruttura prima del calcolo ha, nelle due ipotesi, la composizione rappresentata in Figura 81 e Figura 82.

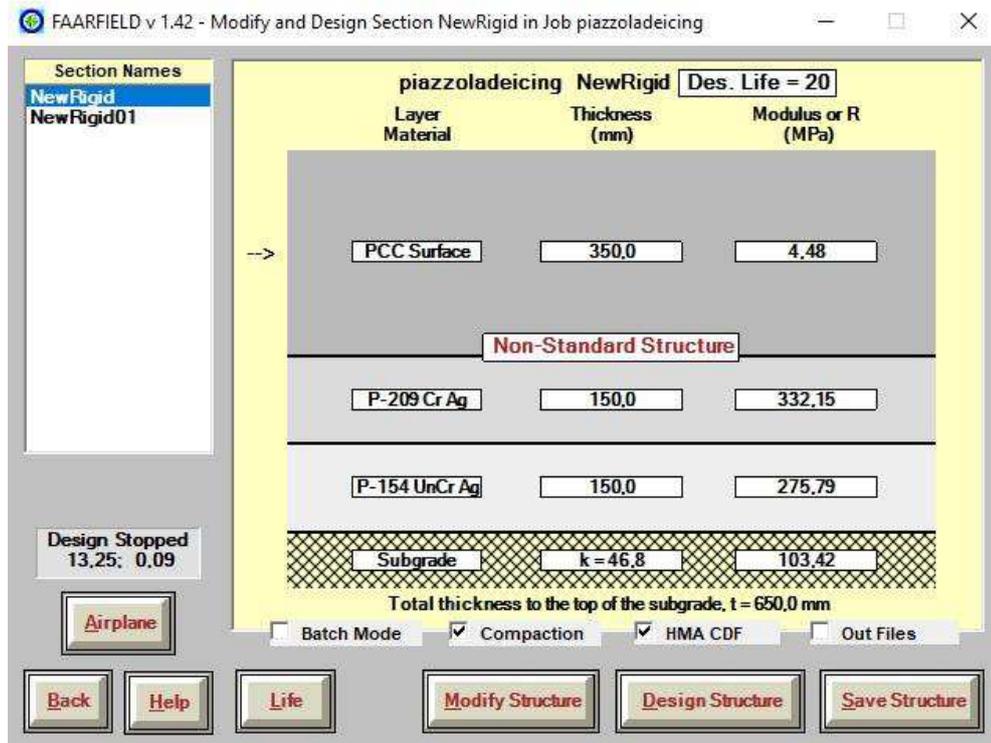


Figura 81: struttura della piazzola de-icing in "FAARFIELD" pre-dimensionamento nell'ipotesi 1

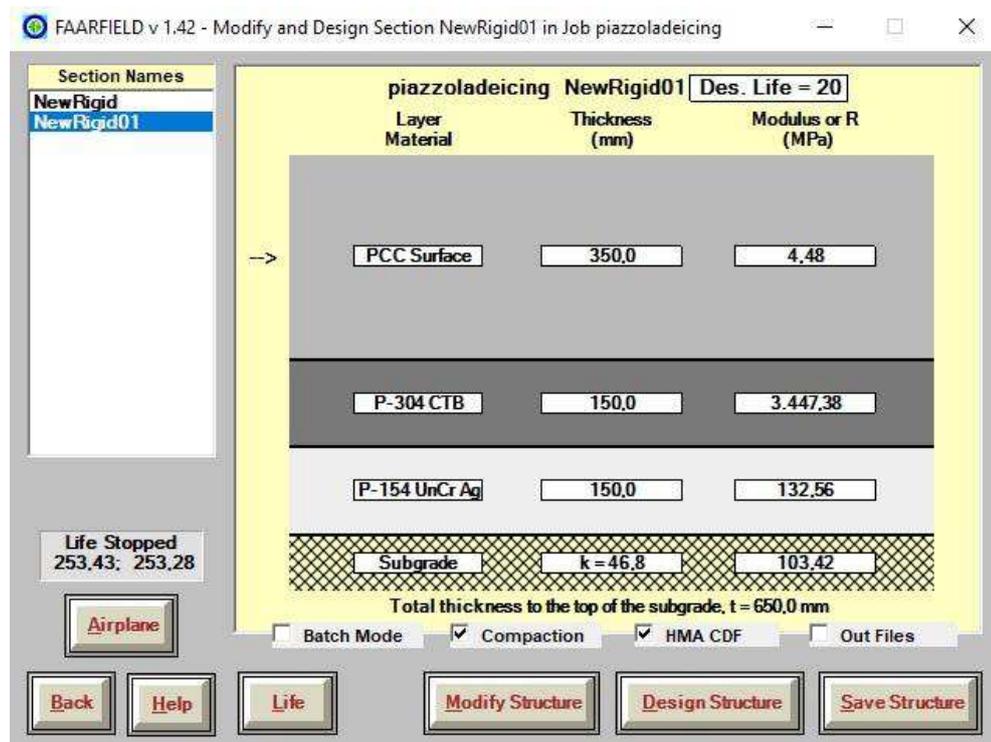


Figura 82: struttura della piazzola de-icing in "FAARFIELD" pre-dimensionamento nell'ipotesi 2

Da come si può osservare, la sovrastruttura nella prima ipotesi è stata identificata dal programma come "struttura non standard": ciò è dovuto al fatto

che secondo le norme americane è una sovrastruttura non convenzionale e non in utilizzo; viene comunque deciso di portar avanti anche questa ipotesi, in quanto in Italia viene spesso impiegata.

Viene chiesto al programma di iniziar la progettazione, ovvero calcolare lo spessore della lastra che comporta un CDF pari a 1 dopo 20 anni di vita. I risultati che si ottengono sono rappresentati, rispettivamente per la prima e seconda ipotesi, in Figura 83 e Figura 84.

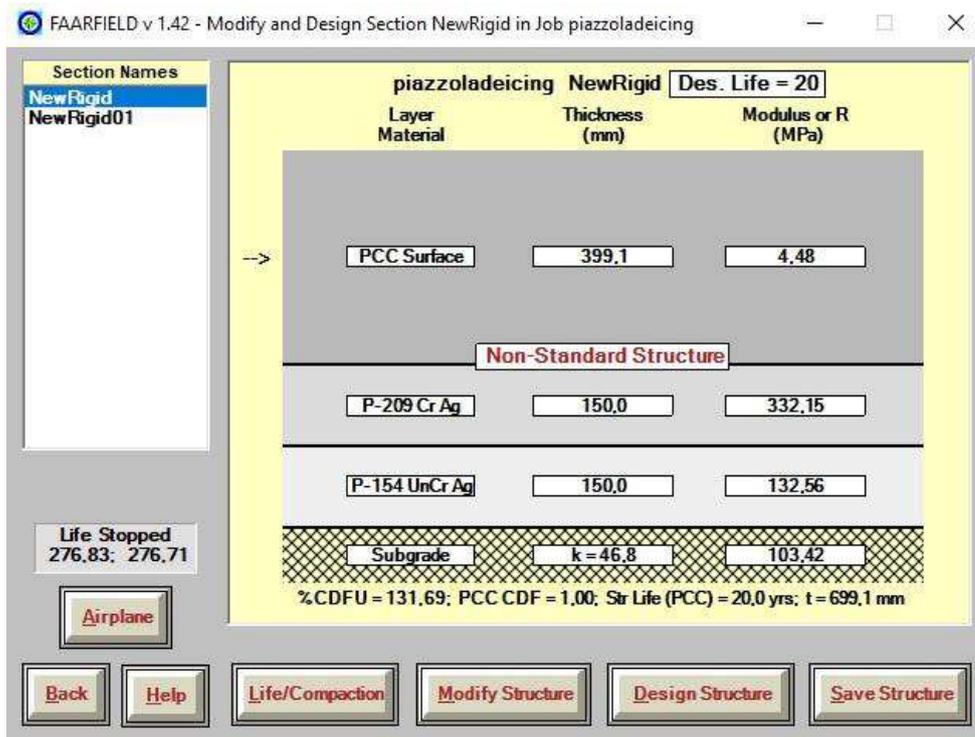


Figura 83: struttura della piazzola de-icing (ipotesi 1) dimensionata in "FAARFIELD"

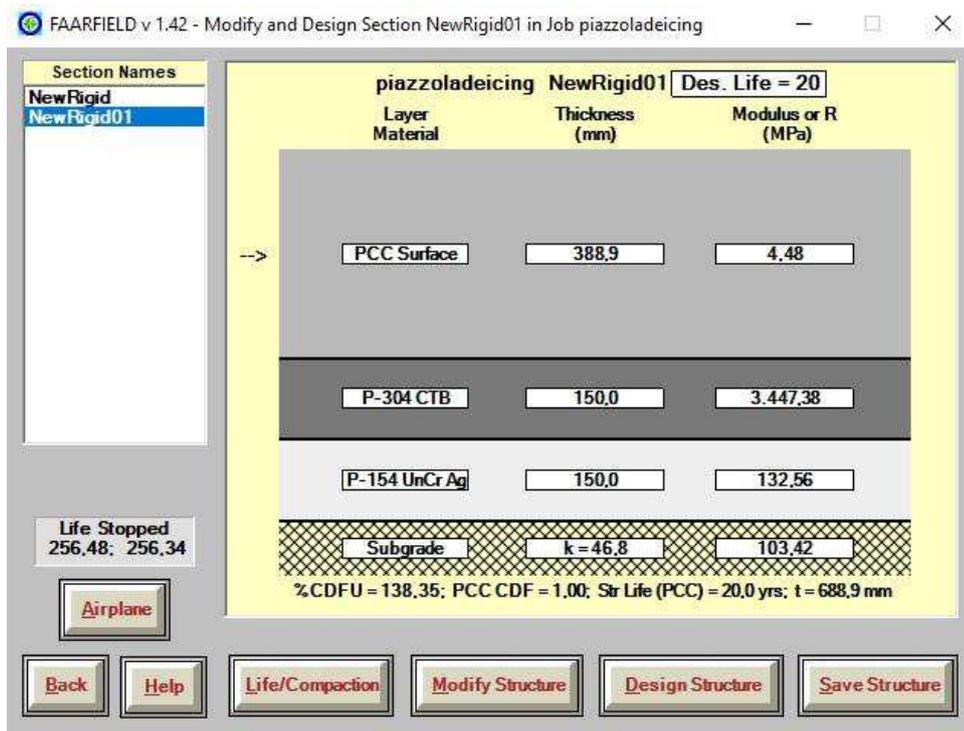


Figura 84: struttura della piazzola de-icing (ipotesi 2) dimensionata in "FAARFIELD"

"FAARFIELD" ha stabilito che lo spessore della lastra in calcestruzzo deve essere nella prima ipotesi almeno 40 cm, mentre nella seconda almeno 39 cm. In base a tutte le considerazioni svolte in precedenza, viene scelto di portare avanti l'ipotesi con utilizzo dello strato in misto cementato. È stato infatti considerato rilevante per la scelta quanto espresso nelle linee guida della FAA, che consiglia l'utilizzo di misto cementato per pavimentazioni che devono sopportare carichi di aerei con pesi lordi maggiori di 100.000 libbre (45.359 kg). Viene scelto comunque di incrementare i 39 cm necessari di spessore della lastra in calcestruzzo fino a 40 cm, in modo da dimensionare in favore di sicurezza.

La pavimentazione finale sarà dunque composta come in Figura 85, nella quale le misure sono in cm.

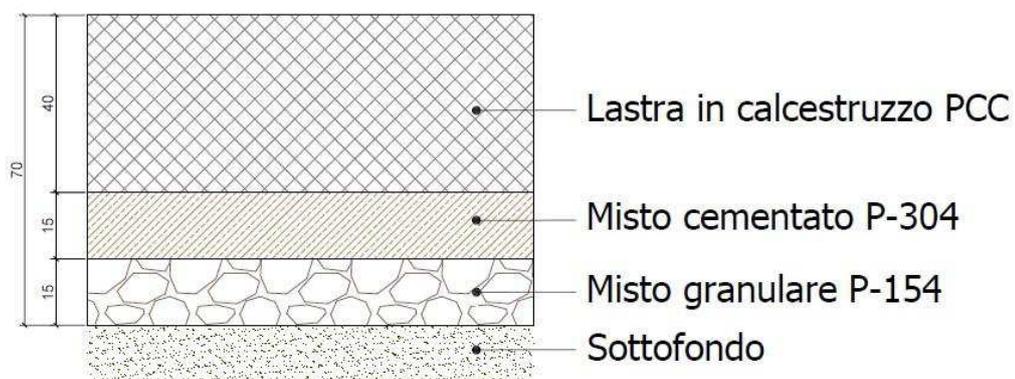


Figura 85: struttura della pavimentazione della piazzola de-icing

È interessante stabilire quali aeromobili risultano essere più impattanti sulla sovrastruttura, ossia quali contribuiscono in maggior modo al CDF (Tabella 29). Come già preannunciato, nella maggior parte dei casi, è limitato il numero degli aerei che contribuiscono alla rottura.

MODELLO AEREO	CODICE IATA	CONTRIBUTO AL CDF
B737-800 STANDARD	738	0,36
B737-800 WINGLETS (*)	73H	0,3
A321-200 std	321	0,27
A320-200 Twin std	320	0,04
B737-400	734	0,02

Tabella 29: contributo dei vari aeromobili per la rottura della pavimentazione

L'aeromobile più impattante sulla sovrastruttura per quanto riguarda il calcolo a rottura per fatica della pavimentazione risulta essere il "Boeing 737-800 standard".

Il software permette, inoltre, di realizzare un grafico (Figura 86), che mostra il valore del CDF totale nelle varie zone della pista, nonché il contributo di ogni singolo aeromobile.

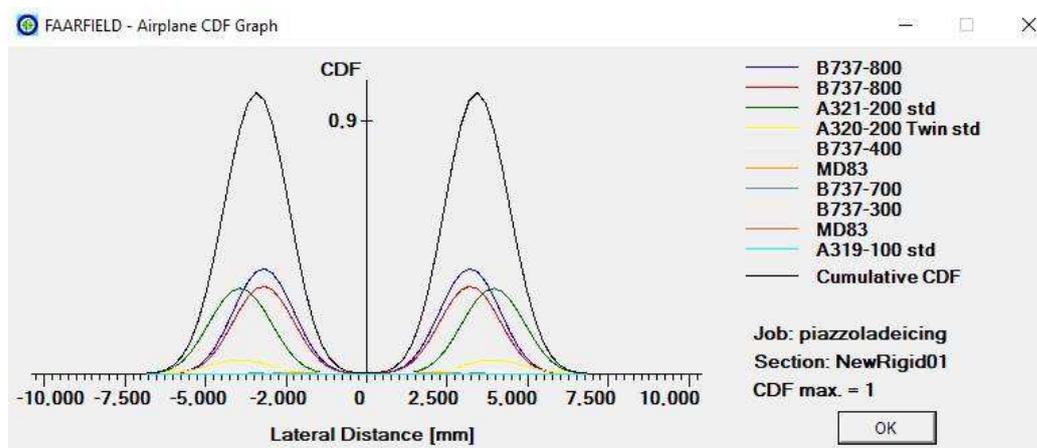


Figura 86: valore del "CDF" nelle varie zone della pavimentazione

L'asse delle ordinate è posto lungo l'asse della pista. Da come si può osservare, la rottura per fatica della pavimentazione avviene a circa 3 metri dall'asse della pista e, come già affermato, gli aeromobili più critici sono i "Boeing 737-800" (modello "standard" e "winglets").

"FAARFIELD" permette, infine, di calcolare i gradi di compattazione minimi da soddisfare per quanto riguarda il terreno di sottofondo. I requisiti di compattazione implementati nel software fanno riferimento all'indice di compattazione (CI), calcolato come complemento a cento del valore di porosità del terreno. Il CI viene determinato nel caso di terreno coesivo e non coesivo:

viene considerato coesivo un terreno con indice di plasticità (PI) maggiore di 3. Nel caso in esame erano state effettuate in passato indagini geologiche, dalle quali era emersa la presenza di terreni principalmente coesivi: verranno utilizzati, dunque, i requisiti riguardanti questa tipologia di terreno. L'unico requisito di compattazione richiesto, come mostrato in Tabella 30, riguarda i primi 62 cm del sottofondo, che devono essere caratterizzati da un grado di compattazione minimo dell'80%. L'aeromobile critico considerato dal software per i calcoli risulta essere l'"A321-200".

PROFONDITA' DALLA CIMA DEL SOTTOFONDO [mm]	GRADO DI COMPATTAZIONE MINIMO [%]	AEREO CRITICO PER COMPATTAZIONE
0-619	80	A321-200

Tabella 30: requisiti minimi di compattazione del sottofondo della piazzola de-icing

5.3.2 DIMENSIONAMENTO SOVRASTRUTTURA DELLE TAXIWAY

Per effettuare il dimensionamento in oggetto, occorre stabilire la composizione della sovrastruttura da attribuire come input al software. Come già citato precedentemente, "FAARFIELD" permette di scegliere di quale strato di pavimentazione dimensionare lo spessore, alternativamente tra la base, il misto granulare e l'eventuale misto cementato. Nello studio in oggetto viene scelto di dimensionare lo strato di base.



Figura 87: struttura tipica di una pavimentazione in conglomerato bituminoso

In Figura 87 si può visualizzare la struttura di una pavimentazione in conglomerato bituminoso in Italia; si noti che, in genere, lo strato di usura è spesso 4/5 cm, lo strato di collegamento (binder) dai 5 agli 8 cm, la base dagli 8 ai 15 cm. Il modello americano di pavimentazione flessibile è leggermente diverso, almeno per quanto riguarda gli strati superficiali. Infatti, è presente un primo strato in "Hot Mix Asphalt", ovvero conglomerato bituminoso, dallo spessore di circa 10 cm, e, come base a questo, uno strato in misto stabilizzato, a bitume o a cemento. La pavimentazione verrà dunque progettata secondo gli standard

americani e, una volta dimensionata, gli spessori e i vari strati verranno adattati al caso italiano.

Anche in questo caso, come espresso nel paragrafo 3.6 della "AC 150/5320-6F", è richiesta la presenza di materiale stabilizzato nel caso in cui la pavimentazione debba sopportare carichi di aerei con pesi lordi maggiori di 100.000 libbre (45.359 kg). È inoltre richiesta la presenza di misto granulare ove il sottofondo abbia valore di CBR minore di 20.

Nella circolare vengono inoltre consigliati materiali da utilizzare e stabiliti gli spessori minimi dei vari strati per quanto riguarda le pavimentazioni in conglomerato bituminoso.

Layer Type	FAA Specification Item	Maximum Airplane Gross Weight Operating on Pavement, lbs (kg)		
		<12,500 (5 670)	< 100,000 (45 360)	≥100,000 (45 360)
HMA Surface ^{1, 2, 3}	P-401, Hot Mix Asphalt (HMA) Pavements	3 in. (75 mm)	4 in. (100 mm)	4 in. (100 mm)
Stabilized Base	P-401 or P-403; P-304; P-306 ⁴	Not Required	Not Required	5 in. (125 mm)
Crushed Aggregate Base ^{5, 6}	P-209, Crushed Aggregate Base Course	3 in. (75 mm)	6 in. (150 mm)	6 in. (150 mm)
Aggregate Base ^{7, 8}	P-208, Aggregate Base Course	3 in. (75 mm)	Not Used ⁷	Not Used
Subbase ^{7, 8}	P-154, Subbase Course	4 in. (100 mm)	4 in. (100 mm) (if required)	4 in. (100 mm) (if required)

Notes:

1. P-601-Fuel Resistant Hot Mix Asphalt may be used to replace the top 2 in (75 mm) of P-401 where a fuel resistant surface is needed; structurally, P-601 considered same as P-401.
2. Additional HMA surface above minimum typically in 0.5-inch (10-mm) increments.
3. P-403 may be used as surface course < 12,500 pounds (5,760 kg) or for HMA base or leveling course.
4. Use of P-306 requires FAA approval on federally funded projects to assure adequate measures taken to control potential for reflective cracking.
5. Use the larger of the thicknesses in this table or the thickness calculated by FAARFIELD rounded to the nearest 0.5 inch (10 mm). Additional thickness may be required for frost protection above minimums.
6. P-209, Crushed Aggregate Base Course, when used as a stabilized base course, is limited to pavements designed for gross loads of 100,000 pounds (45,360 kg) or less, except as noted in paragraph 3.6. Stabilized Base Course.
7. P-208, Aggregate Base Course, when used as a base course, is limited to pavements designed for gross loads of 60,000 pounds (27,220 kg) or less.
8. P-219 Recycled Concrete Aggregate Base Course may be used as an aggregate base or subbase. How P-219 will perform is related to the quality of the material it is made from combined with the method used to process it into an aggregate base.

Figura 88: spessori minimi da utilizzare per pavimentazione in conglomerato bituminoso

In base ai requisiti esposti in Figura 88, la pavimentazione risulterà essere così composta:

- strato superficiale in conglomerato bituminoso (Hot Mix Asphalt Surface), dello spessore di 10 cm totali. Le sue funzioni sono quelle di resistere agli effetti locali del traffico, di impermeabilizzare la superficie e di fornire aderenza, che dipende dalla micro e macrotestitura;
- strato di base, di cui "FAARFIELD" calcolerà lo spessore; si tratta di un misto stabilizzato a cemento (P-304/P-306) o bitume (P-401/P-403); per coerenza con gli strati soprastanti, viene scelto di realizzare la base in conglomerato bituminoso. La funzione dello strato di base è quella di distribuire i carichi, e per permettere ciò deve essere caratterizzato da una buona resistenza al taglio;
- strato in misto granulare, dello spessore di 15 cm; in accordo con le ipotesi effettuate per quanto riguarda la pavimentazione rigida, viene scelto di utilizzare l'aggregato P-209. Le sue caratteristiche sono uguali a quelle esposte precedentemente;
- strato in misto granulare P-154, dello spessore di 15 cm, composto da frammenti di materiale granulare amalgamati con sabbia fine, argilla, polvere di pietra e filler, utilizzato come protezione dal gelo e posa degli strati soprastanti;
- strato di sottofondo, con le caratteristiche del terreno già caratterizzate in passato, ovvero indice CBR pari a 10 e modulo elastico 103,42 MPa.

La pavimentazione viene progettata per una vita utile di 20 anni, ovvero viene imposto il valore di CDF pari a 1 dopo 20 anni di vita. Viene inoltre assegnato come spessore di primo tentativo dello strato di base il valore di 12,5 cm. Questo verrà modificato una volta che viene chiesto al programma di progettare la sovrastruttura per la flotta di aerei assegnata. La pavimentazione prima e dopo il dimensionamento è mostrata in Figura 89 e Figura 90.

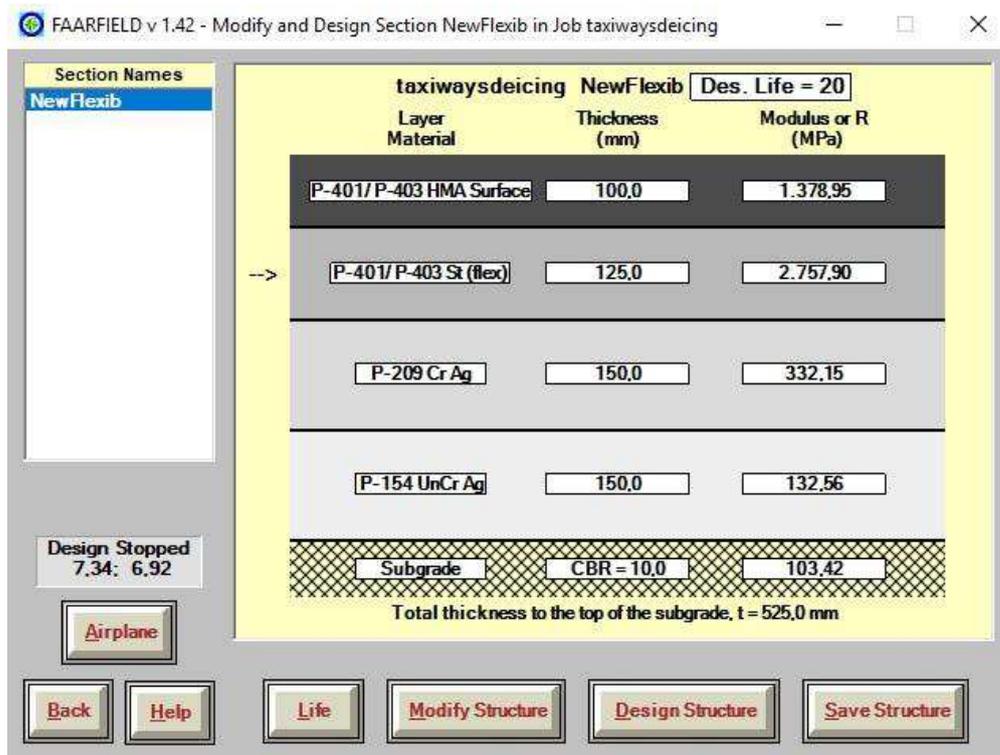


Figura 89: struttura delle taxiway in "FAARFIELD" pre-dimensionamento

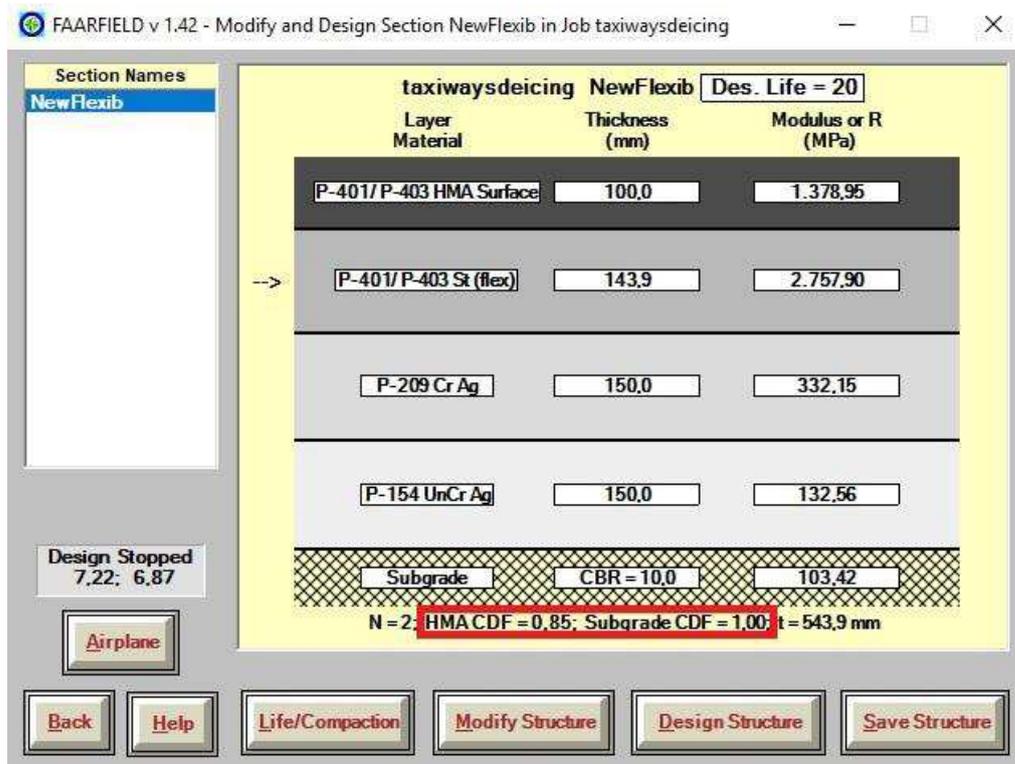


Figura 90: struttura delle taxiway dimensionate in "FAARFIELD"

Lo strato di base della pavimentazione deve essere spesso almeno 144 mm; si stabilisce, quindi, di considerare uno spessore di 150 mm, ponendosi in favore di sicurezza. Dai risultati ottenuti si può notare come la rottura avvenga nel

sottofondo, e non nello strato superficiale in conglomerato bituminoso. Infatti, mentre nel sottofondo il CDF ha raggiunto il valore unitario, nello strato superficiale della pavimentazione risulta essere pari a 0,85 (vedi rettangolo rosso in Figura 90).

Riadattando i calcoli al caso italiano, è stato deciso di dividere il primo strato in “Hot Mix Asphalt” nei due strati di usura e collegamento, spessi rispettivamente 4 e 6 cm, di realizzare lo strato di base in conglomerato bituminoso al posto dello strato in misto granulare stabilizzato a bitume, mantenendo lo spessore di 15 cm, di mantenere lo strato di fondazione da 30 cm, suddiviso in 15 cm in misto granulare P-209 e 15 cm in misto granulare P-154. La sovrastruttura delle taxiway a supporto della piazzola de-icing sarà dunque composta come in Figura 91.

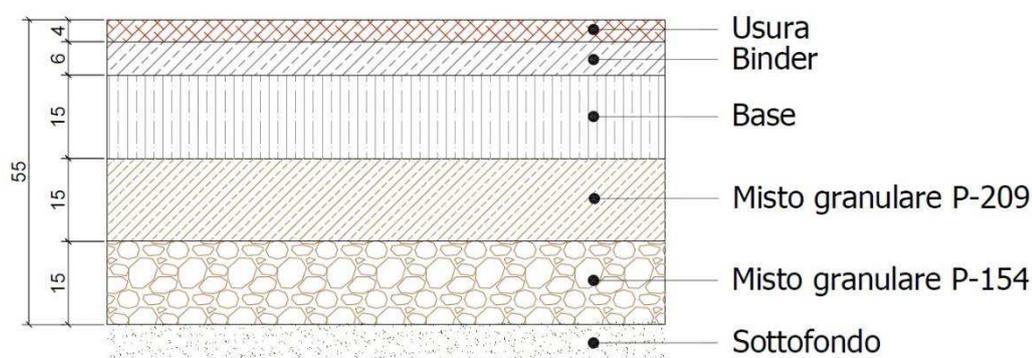


Figura 91: struttura della pavimentazione delle taxiway a supporto della piazzola de-icing

È interessante stabilire, anche in questo caso, quali aeromobili risultano essere più impattanti sulla sovrastruttura, ossia quali contribuiscono in maggior modo al CDF (Tabella 31). Come già preannunciato, nella maggior parte dei casi, è limitato il numero degli aerei che contribuiscono alla rottura della pavimentazione.

MODELLO AEREO	CODICE IATA	CONTRIBUTO AL CDF
B737-800 STANDARD	738	0,39
B737-800 WINGLETS (*)	73H	0,36
A321-200 std	321	0,19
B737-400	734	0,03
A320-200 Twin std	320	0,02
MCDONNELL DOUGLAS MD80 (*)	M80	0,01

Tabella 31: contributo dei vari aeromobili per la rottura della pavimentazione

L'aeromobile più impattante sulla sovrastruttura per quanto riguarda il calcolo a rottura per fatica della pavimentazione risulta essere, anche relativamente alle taxiway a servizio della piazzola de-icing, il “Boeing 737-800 standard”.

Il software permette, come già visto per la piazzola de-icing, di realizzare un grafico che mostra il valore del CDF totale nelle varie zone della pista, nonché il contributo di ogni singolo aeromobile (Figura 92).

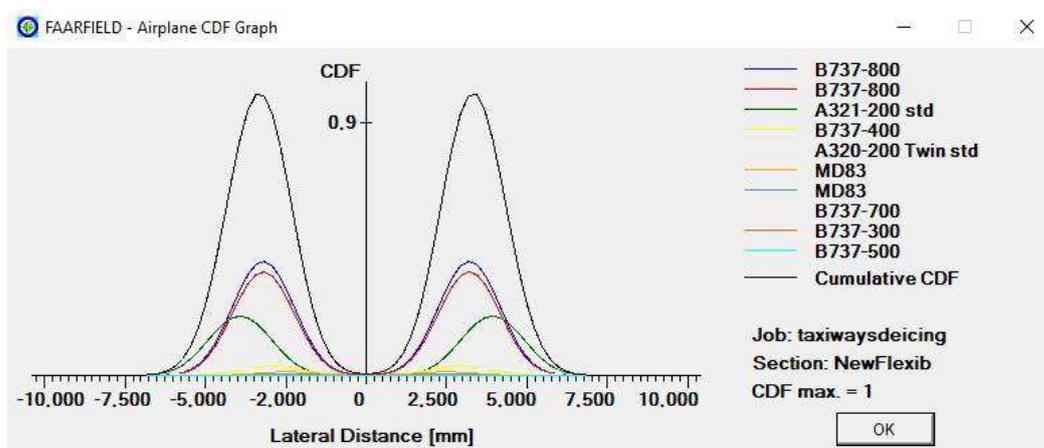


Figura 92: valore del "CDF" nelle varie zone della pavimentazione

L'asse delle ordinate è posto lungo l'asse della pista. Da come si può osservare, la rottura per fatica della pavimentazione avviene a circa 3 metri dall'asse della pista e, come già affermato, gli aeromobili più critici sono i Boeing 737-800 (modello "standard" e "winglets").

Si possono, anche in questo caso, computare i requisiti minimi di compattazione per quanto riguarda il terreno di sottofondo. I risultati emersi sono espressi in Tabella 32.

PROFONDITA' DALLA CIMA DEL SOTTOFONDO [mm]	GRADO DI COMPATTAZIONE MINIMO [%]	AEREO CRITICO PER COMPATTAZIONE
0-192	95	A321-200
192-797	90	A321-200
797-1353	85	A321-200
1353-1917	80	A321-200

Tabella 32: requisiti minimi di compattazione del sottofondo delle taxiway

I criteri di compattazione risultano essere, nel caso di pavimentazione in conglomerato bituminoso, più severi, in quanto il sottofondo è lo strato nel quale avverrà la rottura.

5.4 VALUTAZIONE DELLA PAVIMENTAZIONE: METODO ACN-PCN

Per concludere e verificare la bontà dei dimensionamenti eseguiti, viene utilizzato il metodo ACN-PCN, elaborato nel 1977 e ormai molto frequente in ambito internazionale. L'intero procedimento si basa sulla determinazione di due indici: il PCN (Pavement Classification Number) esprime, con un insieme di

numeri e sigle, la capacità portante della pavimentazione aeroportuale, mentre l'ACN (Aircraft Classification Number) esprime, con un unico numero, l'effetto di un singolo aeromobile su differenti tipi di sovrastruttura. Una pavimentazione con un determinato indice PCN può ospitare solamente aeromobili con un indice ACN minore o uguale del valore del PCN; I due indici vengono calcolati con la stessa analisi tecnica. Il metodo ACN-PCN è stato creato quindi per verificare l'affidabilità delle operazioni aeroportuali, e non deve essere inteso come procedimento per dimensionare la sovrastruttura aeroportuale, per il quale è stato usato il software "FAARFIELD".

Per determinare gli indici PCN della pavimentazione delle taxiway e della piazzola de-icing e gli indici ACN della flotta di aeromobili considerata precedentemente, è stato utilizzato il software "COMFAA", sviluppato dalla "Federal Aviation Administration", come consigliato dalla "AC 150/5335-5C". Come già affermato a proposito del calcolo dimensionale della pavimentazione, il concetto di aeromobile critico è stato superato, in quanto le nuove impostazioni di calcolo prevedono di considerare l'intera flotta e non un singolo aereo, riconosciuto come critico. Si cita a proposito uno studio, realizzato da Baglieri O. e Santagata E., dal titolo "Valutazione del PCN delle pavimentazioni aeroportuali". Tramite il caso studio dell'Aeroporto di Genova, è stato dimostrato che l'aereo considerato come critico per il dimensionamento strutturale della pavimentazione non comportasse il valore massimo per la determinazione del PCN, ma un valore minore rispetto ad un altro velivolo facente parte della flotta. Considerare solamente l'aeromobile critico, dunque, avrebbe implicato, erroneamente, limitazioni operative per tutti gli aeromobili con ACN superiore a quel determinato valore.

5.4.1 CALCOLO DEL VALORE ACN

Per quanto riguarda il calcolo dell'ACN, viene computato dal software un valore per ogni aeromobile presente nella flotta. La determinazione dell'ACN dipende dalle caratteristiche dell'aereo (centro di gravità, peso massimo, spazio tra le ruote, pressione degli pneumatici), ma anche da caratteristiche della pavimentazione (flessibile o rigida) e del sottofondo. Il sottofondo viene suddiviso in quattro classi di resistenza (A, B, C o D), secondo i criteri espressi nella "AC 150/5335-5C" e visualizzabili in Figura 93 e Figura 94.

Subgrade Strength Category	Subgrade Support k-Value pci (MN/m ³)	Represents pci (MN/m ³)	Code Designation
High	552.6 (150)	$k \geq 442$ (≥ 120)	A
Medium	294.7 (80)	$221 < k < 442$ ($60 < k < 120$)	B
Low	147.4 (40)	$92 < k \leq 221$ ($25 < k \leq 60$)	C
Ultra Low	73.7 (20)	$k \leq 92$ (≤ 25)	D

Figura 93: criteri per la suddivisione in classi del sottofondo per pavimentazione rigida

Subgrade Strength Category	Subgrade Support CBR-Value	Represents	Code Designation
High	15	$CBR \geq 13$	A
Medium	10	$8 < CBR < 13$	B
Low	6	$4 < CBR \leq 8$	C
Ultra Low	3	$CBR \leq 4$	D

Figura 94: criteri per la suddivisione in classi del sottofondo per pavimentazione flessibile

Il terreno di sottofondo, come analizzato nel corso del dimensionamento, possiede indice CBR pari a 10 e costante elastica k pari a $46,8 \frac{MN}{m^3}$. La tabella, tuttavia, non fa riferimento al valore reale della costante elastica, ma ad un valore modificato, che verrà calcolato in seguito nel corso del calcolo del PCN e che risulta essere pari a $91,75 \frac{MN}{m^3}$. Di conseguenza, si ricade in classe B (terreno di media resistenza) per entrambi i tipi di pavimentazione aeroportuale.

Come ulteriore input per il calcolo dell'ACN, è necessario inserire nella libreria di "COMFAA" la stessa flotta utilizzata per il dimensionamento della pavimentazione in "FAARFIELD", con le stesse eventuali correzioni applicate ai pesi massimi al decollo. L'interfaccia del software è mostrata in Figura 95.

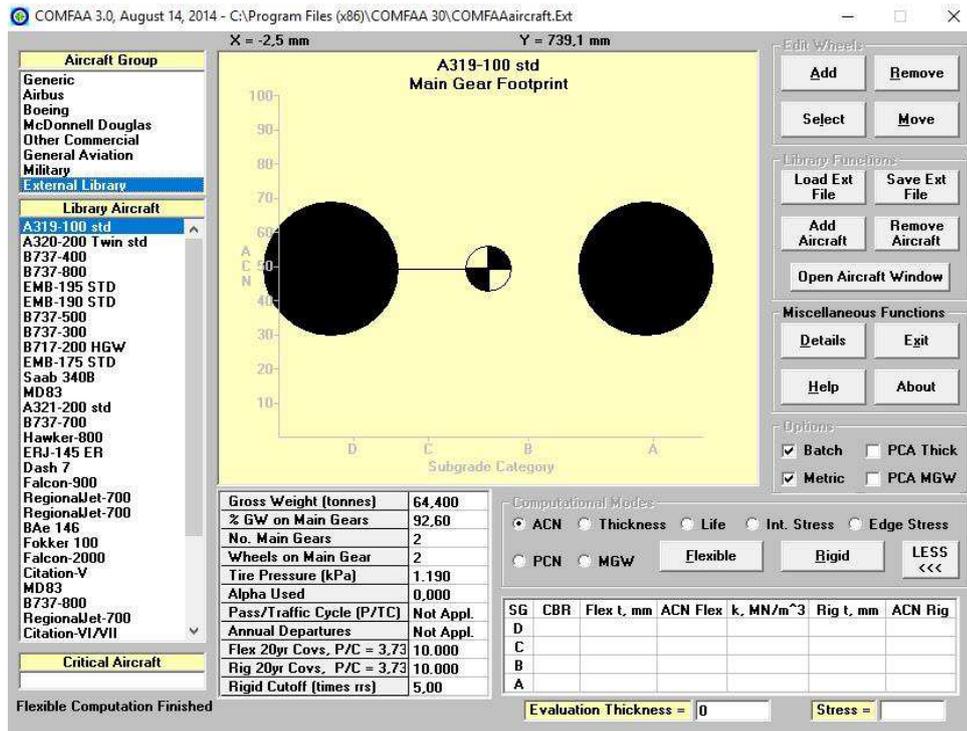


Figura 95: interfaccia del software "COMFAA"

Viene chiesto al programma di calcolare gli indici ACN per tutti gli aerei e per le diverse classi di sottofondo. Per quanto riguarda la pavimentazione della piazzola de-icing, quindi sovrastruttura rigida, i risultati sono espressi in Figura 96.

ICAO ACN Computation, Detailed Output

Unit Conversions Show Alpha Show Ext File Single Aircraft ACN Other Calculation Modes: Flexible Rigid PCN ACN Batch Thickness Life MGW Back

Save PCN Output to a Text File

Rigid ACN at Indicated Gross Weight and Strength. Units = Metric.

No.	Aircraft Name	Gross Weight	% GW on Main Gear	Tire Pressure	ACN at Indicated Code			
					A(150)	B(80)	C(40)	D(20)
1	A319-100 std	64,400	92,60	1.190	34,7	37,1	39,3	41,2
2	A320-200 Twin std	73,900	93,80	1.380	43,5	46,0	48,4	50,4
3	B737-400	68,266	93,82	1.276	42,3	44,5	46,6	48,3
4	B737-800	79,243	93,56	1.413	49,2	51,7	54,1	56,1
5	EMB-195 STD	48,950	95,00	1.062	33,1	34,6	35,9	37,0
6	EMB-190 STD	47,950	95,00	1.014	31,9	33,4	34,8	35,2
7	B737-500	60,781	92,24	1.338	36,5	38,5	40,3	41,8
8	B737-300	63,503	90,86	1.386	38,2	40,1	42,0	43,5
9	B717-200 HGW	55,338	94,42	1.131	34,7	36,5	38,2	39,6
10	EMB-175 STD	37,660	95,00	938	23,9	25,2	26,3	27,2
11	Saab 340B	13,154	95,00	379	4,9	5,6	6,2	6,8
12	MD83	67,812	94,76	1.344	44,9	46,9	48,8	50,3
13	A321-200 std	89,400	95,00	1.460	56,5	59,4	62,1	64,3
14	B737-700	70,307	91,70	1.413	41,6	43,9	46,0	47,7
15	Hawker-800	12,483	95,00	931	7,7	8,1	8,5	8,8
16	ERJ-145 ER	20,700	95,00	1.000	11,8	12,6	13,2	13,8
17	Dash 7	15,650	93,60	740	8,4	9,0	9,6	10,0
18	Falcon-900	20,638	95,00	1.000	14,0	14,6	15,1	15,5
19	RegionalJet-700	36,814	95,00	1.262	23,9	25,0	26,0	26,8
20	RegionalJet-700	38,995	95,00	1.262	25,9	27,0	28,1	28,9
21	BAe 146	43,091	94,20	880	22,8	24,6	26,2	27,6
22	Fokker 100	38,100	95,60	980	22,8	24,2	25,5	26,6
23	Falcon-2000	15,876	95,00	1.358	11,0	11,4	11,7	12,0
24	Citation-V	7,484	95,00	896	6,4	6,5	6,5	6,5
25	MD83	67,812	94,76	1.344	44,9	46,9	48,8	50,3
26	B737-800	79,243	93,56	1.413	49,2	51,7	54,1	56,1
27	RegionalJet-700	41,106	95,00	1.262	27,6	28,8	29,8	30,7
28	Citation-VI/VII	9,163	95,00	1.158	6,5	6,7	6,9	7,0
29	RegionalJet-200	21,523	95,00	1.220	16,8	17,2	17,5	17,8
30	Citation-550B	6,804	95,00	896	5,8	5,9	5,9	5,9
31	DC9-32	43,600	92,40	1.069	25,4	26,9	28,3	29,4
32	ERJ-145 ER	20,700	95,00	1.000	11,8	12,6	13,2	13,8
33	EMB-170 STD	36,150	95,00	869	22,3	23,6	24,7	25,7
34	S-30	8,165	95,00	517	5,7	5,9	6,1	6,1
35	D-75	31,298	95,00	758	17,5	18,8	19,9	20,9
36	RegionalJet-700	32,885	95,00	1.262	21,1	22,1	23,0	23,8

Figura 96: valori dell'ACN per tipo di aeromobile per pavimentazione rigida

Prendendo in considerazione la categoria di sottofondo B, come sopra specificato, il valore massimo osservato risulta essere 59,4, riferito al velivolo “A321-200 std”, che è dunque, ai fini di questa analisi, l’aeromobile critico per la pavimentazione. Lo stesso calcolo viene ripetuto per la pavimentazione in conglomerato bituminoso delle taxiway a servizio della piazzola de-icing. I risultati sono espressi in Figura 97.

ICA0 ACN Computation, Detailed Output

Unit Conversions Show Alpha Show Ext File Single Aircraft ACN Flexible Rigid Other Calculation Modes PCN ACN Batch Thickness Life MGW Back

Save PCN Output to a Text File

Flexible ACN at Indicated Gross Weight and Strength. Units = Metric.

No.	Aircraft Name	Gross Weight	% GW on Main Gear	Tire Pressure	ACN A(15)	B(10)	C(6)	D(3)
1	A319-100 std	64,400	92,60	1.190	31,9	32,8	36,4	42,1
2	A320-200 Twin std	73,900	93,80	1.380	38,5	40,0	44,4	50,2
3	B737-400	68,266	93,82	1.276	37,0	39,3	44,0	47,9
4	B737-800	79,243	93,56	1.413	42,8	45,3	50,3	55,2
5	EMB-195 STD	48,950	95,00	1.062	29,5	31,3	34,1	36,0
6	EMB-190 STD	47,950	95,00	1.014	28,6	30,6	33,3	35,1
7	B737-500	60,781	92,24	1.338	31,9	33,3	37,4	41,4
8	B737-300	63,503	90,86	1.386	33,0	34,8	38,8	42,8
9	B717-200 HGW	55,338	94,42	1.131	30,8	32,5	36,5	39,5
10	EMB-175 STD	37,660	95,00	938	21,1	22,9	25,5	27,2
11	Saab 340B	13,154	95,00	379	3,4	4,7	6,1	7,8
12	MD83	67,812	94,76	1.344	38,8	41,7	45,8	49,0
13	A321-200 std	89,400	95,00	1.460	49,4	52,0	57,6	63,2
14	B737-700	70,307	91,70	1.413	36,3	38,1	42,1	47,2
15	Hawker-800	12,483	95,00	931	6,5	7,0	8,0	8,8
16	ERJ-145 ER	20,700	95,00	1.000	10,4	10,8	12,2	14,0
17	Dash 7	15,650	93,60	740	7,1	8,0	9,1	10,5
18	Falcon-900	20,638	95,00	1.000	12,2	13,0	14,3	15,1
19	RegionalJet-700	36,514	95,00	1.262	20,4	21,6	24,2	26,2
20	RegionalJet-700	38,995	95,00	1.262	22,1	23,6	26,2	28,1
21	BaE 146	43,091	94,20	880	20,8	22,2	25,4	29,1
22	Fokker 100	38,100	95,60	980	20,2	21,4	24,6	27,0
23	Falcon-2000	15,876	95,00	1.358	9,0	9,6	10,6	11,4
24	Citation-V	7,484	95,00	896	6,3	6,7	6,7	6,9
25	MD83	67,812	94,76	1.344	38,8	41,7	45,8	49,0
26	B737-800	79,243	93,56	1.413	42,8	45,3	50,3	55,2
27	RegionalJet-700	41,106	95,00	1.262	23,6	25,3	27,9	29,8
28	Citation-VI/VII	9,163	95,00	1.158	5,3	5,8	6,3	6,7
29	RegionalJet-200	21,523	95,00	1.220	14,6	15,3	15,8	16,2
30	Citation-550B	6,804	95,00	896	5,7	6,1	6,1	6,3
31	DC9-32	43,600	92,40	1.069	22,8	23,6	26,9	29,7
32	ERJ-145 ER	20,700	95,00	1.000	10,4	10,8	12,2	14,0
33	EMB-170 STD	36,150	95,00	869	19,8	21,6	24,2	26,0
34	S-30	8,165	95,00	517	4,8	5,8	6,8	7,1
35	D-75	31,298	95,00	758	15,2	17,0	19,7	21,9
36	RegionalJet-700	32,885	95,00	1.262	17,9	19,0	21,3	23,3

Figura 97: valori dell'ACN per tipo di aeromobile per pavimentazione in conglomerato bituminoso

Analizzando la colonna relativa alla categoria B, il valore massimo osservato risulta essere pari a 52 e, anche in questo caso, relativo al velivolo “A321-200 std”. I valori di ACN massimi ottenuti sono, dunque, i seguenti:

$$ACN_{max\ rigid} = 59$$

$$ACN_{max\ flex} = 52$$

I valori di PCN della pavimentazione della piazzola de-icing e delle taxiway dovranno necessariamente essere superiori di questi due valori, in quanto, in caso contrario, alcuni aeromobili non potrebbero utilizzare la piazzola per le operazioni di de-icing.

5.4.2 CALCOLO DEL VALORE PCN

Per determinare il valore del PCN della pavimentazione, nella circolare “AC 150/5335-5C” si fa riferimento all’utilizzo di due metodi, l’“Using Aircraft Method” e il “Technical Evaluation Method”.

5.4.2.1 USING AIRCRAFT METHOD

Si tratta di una semplice procedura secondo la quale vengono determinati tutti gli indici ACN della flotta, e il valore più grande viene semplicemente riportato come PCN. È un metodo di semplice applicazione e non richiede la conoscenza della struttura della pavimentazione, tuttavia si basa su ipotesi abbastanza forti. Infatti, si parte dal presupposto che la pavimentazione sia in grado di ospitare tutti gli aerei della flotta senza restrizioni di peso. Questa ipotesi può comportare, però, errori di sovrastima o sottostima del valore del PCN: può esserci una sovrastima del PCN quando il suo valore è determinato da un aereo molto impattante che utilizza la pavimentazione poco frequentemente; al contrario, la sottostima del PCN può portare ad un uso non ottimale della pavimentazione, non permettendo l’operatività di aerei che in realtà potrebbero utilizzare la sovrastruttura. Questo metodo si può applicare nei casi in cui non si è a conoscenza della struttura esatta della pavimentazione, ma il suo uso è sconsigliato a lungo termine.

5.4.2.2 TECHNICAL EVALUATION METHOD

Si tratta di una procedura più accurata e che fornisce risultati più affidabili, tenendo conto di vari fattori, tra cui le condizioni di carico degli aerei, la frequenza delle operazioni, la struttura della pavimentazione. Il valore determinato non deve essere inteso come valore assoluto, ma come stima di un valore rappresentativo, che può essere modificato in caso di cambiamenti alle variabili sopracitate. Per applicare questo metodo è necessaria la conoscenza delle caratteristiche e gli spessori dei vari strati di sovrastruttura, e le caratteristiche del sottofondo. Come già specificato precedentemente, il calcolo del valore di PCN non deve essere utilizzato al fine di dimensionamento della sovrastruttura, ma come indice di capacità portante della stessa.

Qualunque sia il metodo utilizzato, il PCN viene riportato come un codice di cinque numeri/lettere, separati da barra obliqua. Le cinque parti sono, in ordine, valore numerico del PCN, tipo di pavimentazione, categoria del sottofondo, pressione dei pneumatici consentita e procedura utilizzata.

- Valore numerico del PCN: indica la capacità portante della pavimentazione in termini di carico massimo ammissibile della ruota singola standard, alla pressione di 1,25 MPa. Il valore deve essere arrotondato al numero intero più prossimo.

- Tipo di pavimentazione: viene indicato “F” se si tratta di pavimentazione flessibile (in conglomerato bituminoso) o “R” se si tratta di pavimentazione rigida (in calcestruzzo).
- Categoria del sottofondo: viene indicata la categoria di sottofondo, in funzione dei valori di costante elastica, per le pavimentazioni rigide, e CBR, per le pavimentazioni flessibili. Vengono utilizzati gli stessi criteri già esposti per la determinazione dell’ACN.
- Pressione degli pneumatici consentita: è espressa tramite una lettera, in accordo con i criteri esposti in Tabella 33.

Codice assegnato	Pressione degli pneumatici massima consentita [MPa]
W	Nessun limite
X	1,75
Y	1,25
Z	0,50

Tabella 33: determinazione del codice a seconda della pressione degli pneumatici massima consentita

La pressione degli pneumatici solitamente è poco impattante sulle pavimentazioni in calcestruzzo. Le pavimentazioni rigide, infatti, sono abbastanza resistenti da reggere pressioni degli pneumatici più alte di quelle solitamente in uso nell’aviazione commerciale e, per questo motivo, vengono spesso catalogate con il codice “W”. Al contrario, le pavimentazioni flessibili potrebbero essere soggette a limitazioni in questo campo, a seconda del conglomerato bituminoso impiegato e degli spessori dello stesso. Il codice più frequentemente utilizzato per le pavimentazioni flessibili è il “X”.

- Procedura utilizzata: viene indicato “U” se è stato utilizzato il metodo “Using Aircraft”, “T” se l’indice è stato calcolato con il metodo “Technical Evaluation”.

Un esempio di codice PCN è 80/R/B/W/T, nel quale 80 è il valore del PCN, “R” indica che la pavimentazione è rigida, “B” è la categoria di sottofondo di media resistenza, “W” indica che la pavimentazione tollera alte pressioni di gonfiaggio degli pneumatici, “T” individua il metodo utilizzato, “Technical Evaluation” in questo caso.

Il software “COMFAA” consiglia, al termine dell’analisi, il codice completo da utilizzare per identificare la pavimentazione.

Ai fini dell’analisi in oggetto, è stato scelto di utilizzare il metodo più accurato, “Technical Evaluation”, in quanto si è a conoscenza dei dati completi di sovrastruttura e sottofondo.

Per utilizzare il metodo, è necessario l'impiego di un foglio di calcolo, fornito direttamente dalla FAA, che permette di stabilire gli input da assegnare al software "COMFAA" al fine del calcolo del PCN. Si riporta in Figura 98 il foglio di calcolo nel caso di pavimentazione rigida. Nella parte alta vengono riportati i dati della sovrastruttura dimensionata, con i relativi materiali utilizzati e spessori, in aggiunta al valore di costante elastica del sottofondo.

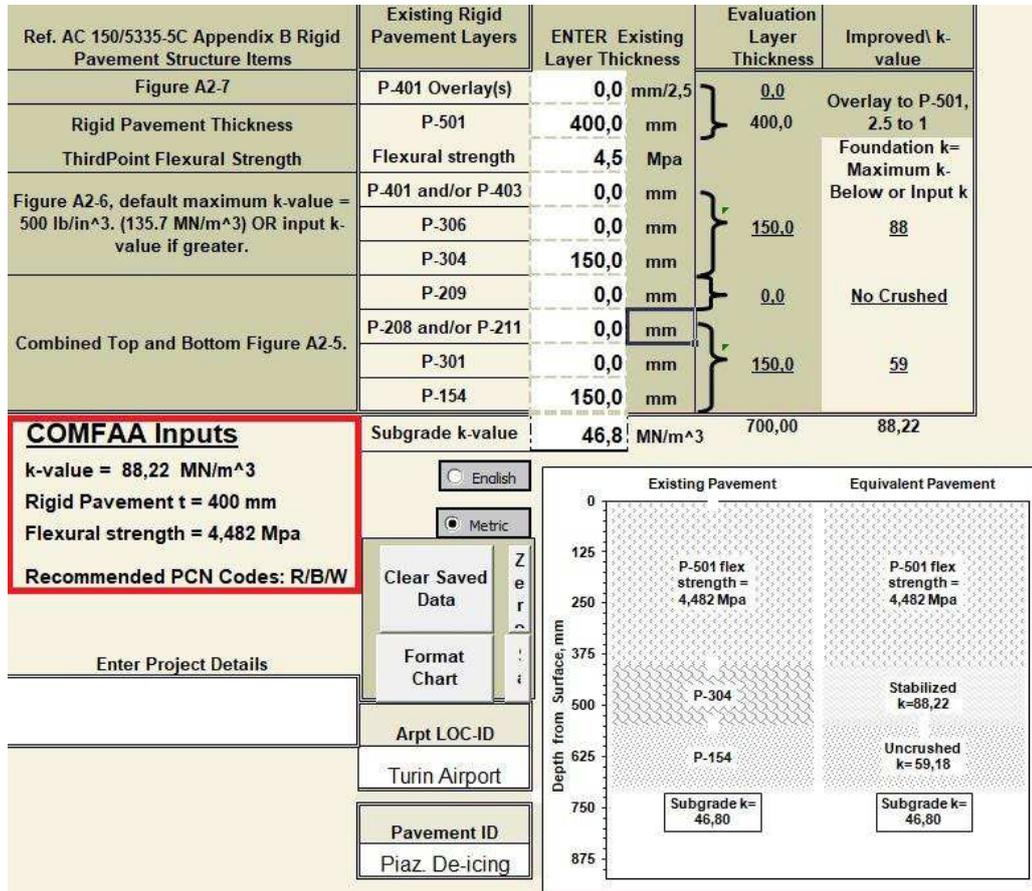


Figura 98: foglio di calcolo della FAA nel caso di sovrastruttura rigida

Il foglio permette il calcolo di un valore di spessore equivalente della pavimentazione e di costante elastica migliorata in funzione delle caratteristiche della pavimentazione: questi due dati sono necessari, in aggiunta alla flotta di aerei, per il software "COMFAA".

Da come si può notare (rettangolo rosso), lo spessore equivalente della pavimentazione è di 400 mm ed il valore della costante elastica del sottofondo, in base alla configurazione della sovrastruttura, è stato migliorato a 88,22 $\frac{MN}{m^3}$. Il foglio di calcolo della FAA suggerisce, inoltre, i codici da assegnare all'indice PCN: si tratta ovviamente di una pavimentazione rigida (R), il sottofondo è di media resistenza (B) e la sovrastruttura può ospitare aerei con pneumatici alla massima pressione di gonfiaggio (W).

Per quanto riguarda la pavimentazione in conglomerato bituminoso, il foglio di calcolo ha un layout simile, mostrato in Figura 99. Vengono assegnati i materiali utilizzati e gli spessori corrispondenti, in aggiunta al valore di CBR del sottofondo.

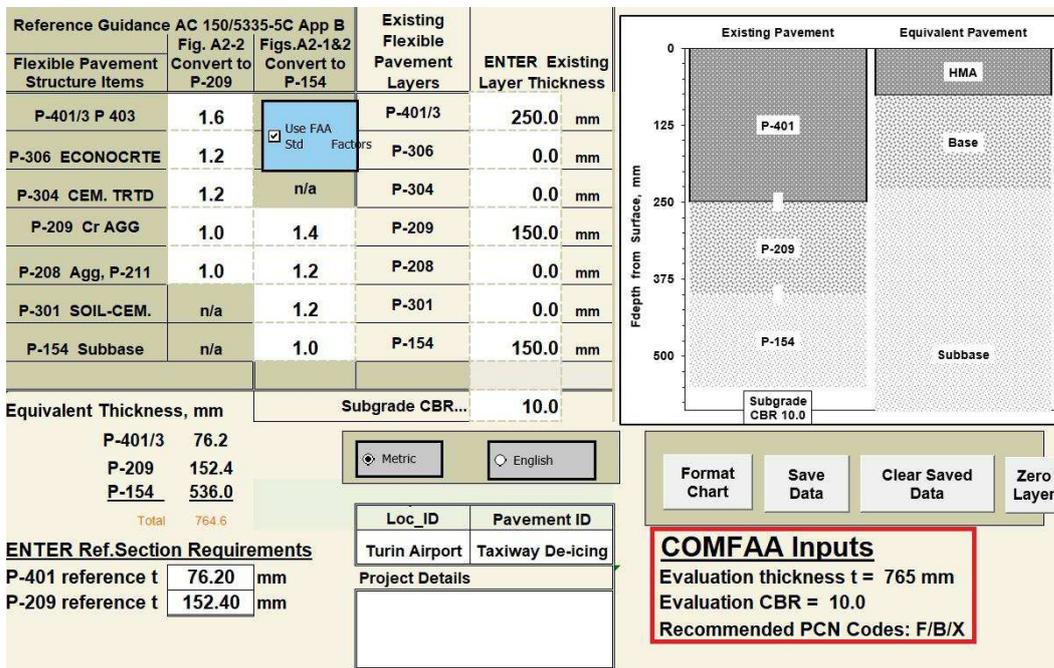


Figura 99: foglio di calcolo della FAA nel caso di sovrastruttura flessibile

In questo caso, lo spessore equivalente della pavimentazione è di 765 mm ed il valore del CBR del sottofondo è pari a 10. Il foglio di calcolo della FAA suggerisce, inoltre, i codici da assegnare all'indice PCN: si tratta ovviamente di una pavimentazione flessibile (F), il sottofondo è di media resistenza (B) e la sovrastruttura può ospitare aerei con pressione di gonfiaggio degli pneumatici massima di 1,75 MPa (X).

Una volta ottenuti gli input strutturali, è possibile, fornendo come ulteriore dato la stessa flotta degli aerei già utilizzata in "FAARFIELD" con le relative partenze annuali (Figura 100), calcolare il valore numerico del PCN della pavimentazione.

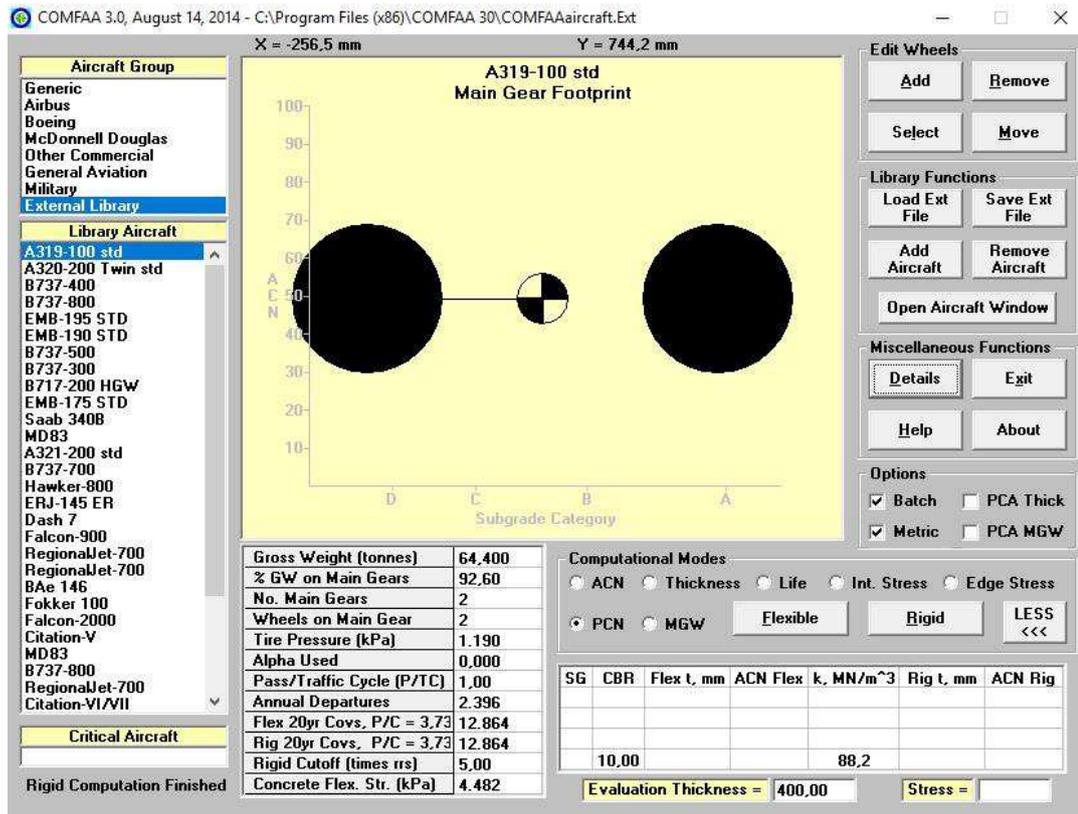


Figura 100: input forniti al software per il calcolo del PCN della pavimentazione della piazzola de-icing

I risultati ottenuti, per quanto riguarda la pavimentazione della piazzola de-icing, sono mostrati in Figura 101.

Results Table 2. PCN Values

No.	Aircraft Name	Critical Aircraft Total Equiv. Covs.	Thickness for Total Equiv. Covs.	Maximum Allowable Gross Weight	ACN Thick at Max. Allowable Gross Weight	CDF	PCN on B(80)
1	A319-100 std	615.401	386,3	69,032	286,00	0,0104	40,2
2	A320-200 Twin std	82.618	384,8	79,421	316,68	0,0672	50,1
3	B737-400	131.382	385,2	73,490	312,29	0,0411	48,6
4	B737-800	32.712	384,0	85,883	335,91	0,1549	56,9
5	EMB-195 STD	1.936.964	387,0	52,272	276,53	0,0017	37,4
6	EMB-190 STD	2.839.087	387,3	51,142	272,00	0,0010	36,1
7	B737-500	415.369	386,0	65,185	291,12	0,0059	41,8
8	B737-300	279.020	385,7	68,195	297,12	0,0057	43,7
9	B717-200 HGW	903.880	386,5	58,971	283,37	0,0016	39,4
10	EMB-175 STD	>5,000,000	388,8	39,839	237,41	0,0000	26,9
11	Saab 340B	>5,000,000	394,7	13,498	115,38	0,0000	5,7
12	MD83	79.600	384,8	72,917	319,74	0,0083	51,2
13	A321-200 std	10.992	382,9	97,410	359,03	0,0541	65,7
14	B737-700	118.321	385,1	75,710	310,00	0,0040	47,9
15	Hawker-800	>5,000,000	393,3	12,903	138,31	0,0000	8,6
16	ERJ-145 ER	>5,000,000	391,7	21,573	170,20	0,0000	13,2
17	Dash 7	>5,000,000	393,0	16,173	145,07	0,0000	9,4
18	Falcon-900	>5,000,000	391,3	21,524	182,74	0,0000	15,4
19	RegionalJet-700	>5,000,000	388,6	38,616	236,47	0,0001	26,7
20	RegionalJet-700	>5,000,000	388,2	41,328	245,47	0,0001	28,9
21	BAe 146	>5,000,000	388,9	45,449	234,26	0,0000	26,2
22	Fokker 100	>5,000,000	388,9	40,148	232,67	0,0000	25,8
23	Falcon-2000	>5,000,000	392,0	16,495	162,21	0,0000	11,9
24	Citation-V	>5,000,000	394,0	7,736	123,91	0,0000	6,7
25	MD83	79.600	384,8	72,917	319,74	0,0026	51,2
26	B737-800	32.712	384,0	85,883	335,91	0,1406	56,9
27	RegionalJet-700	>5,000,000	387,9	43,645	252,95	0,0000	30,9
28	Citation-VI/VII	>5,000,000	393,8	9,441	125,90	0,0000	6,9
29	RegionalJet-200	>5,000,000	390,6	22,534	197,46	0,0000	18,1
30	Citation-550B	>5,000,000	394,3	7,023	118,46	0,0000	6,1
31	DC9-32	>5,000,000	388,3	46,016	244,66	0,0000	28,7
32	ERJ-145 ER	>5,000,000	391,7	21,573	170,20	0,0000	13,2
33	EMB-170 STD	>5,000,000	389,2	38,101	229,83	0,0000	25,1
34	S-30	>5,000,000	394,4	8,431	118,34	0,0000	6,1
35	D-75	>5,000,000	390,3	32,786	206,02	0,0000	19,9
36	RegionalJet-700	>5,000,000	389,2	34,632	222,74	0,0000	23,5
					Total CDF =	0,4993	

Figura 101: valori di PCN per la pavimentazione della piazzola de-icing

Nell'analisi, ogni aeromobile a turno viene considerato come critico, e le partenze degli ulteriori aerei vengono trasformate in partenze dell'aeromobile critico (seconda colonna). L'ultima colonna mostra i conseguenti valori di PCN, ed il numero massimo è quello che identifica la pavimentazione. L'indice finale della piazzola de-icing sarà dunque **66/R/B/W/T**. Si noti come il valore numerico del PCN, 66, sia maggiore del valore massimo di ACN calcolato, 59: ciò significa che la sovrastruttura può regolarmente ospitare tutti gli aeromobili presenti nella flotta. Il software calcola, inoltre, il valore del CDF totale ed il contributo fornito da ogni singolo velivolo. Da come si può notare, i valori sono differenti da quelli osservati in "FAARFIELD"; ciò è dovuto al fatto che la pavimentazione è stata sovradimensionata per porsi in favore di sicurezza, passando da uno spessore della lastra in calcestruzzo calcolato in "FAARFIELD" di 38,9 cm allo spessore finale di 40 cm. L'indice CDF totale, comunque, risulta essere abbondantemente sotto il valore unitario e ciò indica che la sovrastruttura possiede una resistenza adeguata al traffico assegnato.

Per quanto riguarda le taxiway a supporto della piazzola de-icing, i risultati ottenuti sono presentati in Figura 102.

Results Table 2. PCN Values							
No.	Aircraft Name	Critical Aircraft Total Equiv. Covs.	Thickness for Total Equiv. Covs.	Maximum Allowable Gross Weight	ACN Thick at Max. Allowable Gross Weight	CDF	PCN on B(10)
1	A319-100 std	>5,000,000	719.4	70.231	523.24	0.0000	36.4
2	A320-200 Twin std	381,245	664.7	92.079	629.94	0.0003	52.7
3	B737-400	453,373	666.8	84.670	625.26	0.0002	51.9
4	B737-800	29,695	625.7	108.222	712.45	0.0031	67.4
5	EMB-195 STD	>5,000,000	749.4	50.880	497.27	0.0000	32.9
6	EMB-190 STD	>5,000,000	755.8	49.024	486.97	0.0000	31.5
7	B737-500	>5,000,000	713.6	67.880	537.59	0.0000	38.4
8	B737-300	>5,000,000	701.9	72.712	559.19	0.0000	41.4
9	B717-200 HGW	>5,000,000	725.6	60.385	521.84	0.0000	36.2
10	EMB-175 STD	>5,000,000	678.8	46.765	476.64	0.0000	30.2
11	Saab 340B	>5,000,000	304.8	54.595	486.53	0.0000	31.4
12	MD83	157,575	655.7	86.970	657.74	0.0001	57.5
13	A321-200 std	4,207	587.7	135.521	816.81	0.0026	88.7
14	B737-700	1,267,216	677.6	84.765	601.93	0.0000	48.1
15	Hawker-800	>5,000,000	381.6	44.007	490.20	0.0000	31.9
16	ERJ-145 ER	>5,000,000	476.3	45.978	473.22	0.0000	29.8
17	Dash 7	>5,000,000	407.4	47.153	486.34	0.0000	31.4
18	Falcon-900	>5,000,000	509.5	43.760	490.31	0.0000	31.9
19	RegionalJet-700	>5,000,000	673.3	45.607	467.88	0.0000	29.1
20	RegionalJet-700	>5,000,000	699.5	45.607	467.88	0.0000	29.1
21	BAe 146	>5,000,000	683.4	51.703	457.60	0.0000	27.8
22	Fokker 100	>5,000,000	671.0	47.932	466.86	0.0000	28.9
23	Falcon-2000	>5,000,000	446.7	42.443	489.04	0.0000	31.8
24	Citation-V	>5,000,000	448.3	21.798	382.35	0.0000	19.4
25	MD83	157,574	655.7	86.970	657.74	0.0000	57.5
26	B737-800	29,695	625.7	108.222	712.45	0.0028	67.4
27	RegionalJet-700	>5,000,000	721.1	45.607	467.88	0.0000	29.1
28	Citation-VI/VII	>5,000,000	341.1	41.776	496.87	0.0000	32.8
29	RegionalJet-200	>5,000,000	537.7	42.071	494.39	0.0000	32.5
30	Citation-550B	>5,000,000	427.4	21.798	382.35	0.0000	19.4
31	DC9-32	>5,000,000	708.0	49.740	459.61	0.0000	28.1
32	ERJ-145 ER	>5,000,000	476.3	45.978	473.22	0.0000	29.8
33	EMB-170 STD	>5,000,000	660.2	46.961	475.83	0.0000	30.1
34	S-30	>5,000,000	417.0	27.480	382.29	0.0000	19.4
35	D-75	>5,000,000	596.6	48.194	475.09	0.0000	30.0
36	RegionalJet-700	>5,000,000	633.0	45.607	467.88	0.0000	29.1
Total CDF =						0.0091	

Figura 102: valori di PCN per la pavimentazione delle taxiway a supporto della piazzola de-icing

Anche in questo caso valgono i ragionamenti già effettuati per quanto riguarda la sovrastruttura rigida. L'indice completo da assegnare alla pavimentazione delle taxiway è **89/F/B/X/T**. La pavimentazione può dunque regolarmente ospitare tutti gli aeromobili della flotta, in quanto il valore massimo dell'ACN osservato risulta essere 52. Inoltre, si può osservare come il CDF totale sia abbondantemente sotto l'unità, in quanto la pavimentazione è stata sovradimensionata, seguendo i criteri di progettazione italiani.

In conclusione, gli indici PCN delle due sovrastrutture sono:

$$PCN_{rig} = 66/R/B/W/T$$

$$PCN_{flex} = 89/F/B/X/T$$

6. STIMA ECONOMICA

È possibile, a questo punto, effettuare una stima economica delle due soluzioni considerate nel corso della tesi. Si precisa che, non essendo quello in oggetto un progetto bensì uno studio pilota a carattere esplorativo, i valori calcolati sono puramente indicativi e finalizzati essenzialmente ad una comparazione parametrica tra le due soluzioni proposte.

Non risulta possibile, infatti, elaborare un computo metrico estimativo sulla base del prezziario della Regione Piemonte, in quanto non sono stati studiati tutti i dettagli di realizzazione (impianti luminosi, impianti idraulici, segnaletica, collegamento con sovrastruttura esistente, tempi di lavorazione, nolo dei mezzi movimento terra, ecc.). Risulta necessario, quindi, attribuire un prezzo parametrico per la realizzazione di taxiway e piazzola, basato sull'esperienza maturata da progetti simili presso altri aeroporti italiani, e anche sulla base dello studio precedente del 2015 più volte menzionato. In particolare, i prezzi riferiti a quest'ultimo elaborato sono stati aggiornati all'anno corrente mediante un coefficiente correttivo calcolato direttamente dall'ISTAT.

In base alle considerazioni sopraesposte, è stato ritenuto ragionevole attribuire alla realizzazione di taxiway e piazzola un prezzo parametrico rispettivamente di 170 €/m² e 300 €/m². Per le torri faro, invece, nonostante siano di altezze leggermente diverse, è stato considerato un prezzo univoco di 25.000 € ciascuna. Sono stati, infine, computati 700.000 € di costo per la rimozione e rilocalizzazione del separatore di idrocarburi per l'ipotesi tre e, in ambedue le soluzioni, 20% di costo per lavorazioni non computabili, in cui rientrano l'installazione delle barriere anti jet-blast ed i rifacimenti dei bordi delle pavimentazioni esistenti per i collegamenti con le nuove sovrastrutture.

I costi di realizzazione stimati per le due ipotesi, da come si può visualizzare in Tabella 34 e Tabella 35, sono pari a 2.414.300 € per la prima soluzione (ipotesi due) e 4.004.600 € per la seconda soluzione (ipotesi tre). L'aspetto che maggiormente emerge dalla stima economica, oltre alle alte cifre in esame, è il fatto che la realizzazione associata all'ipotesi tre è di gran lunga più onerosa (quasi il doppio) rispetto alla realizzazione associata all'ipotesi due, in virtù della maggior superficie da pavimentare e dell'elevato costo associato alla rimozione e ricollocazione del separatore degli idrocarburi.

IPOTESI DUE					
N.	DESCRIZ.	U.M.	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO [€]	IMPORTO [€]
1	REALIZZAZIONE PIAZZOLA DE-ICING COMPLETA DI LUCI E RETE DI DRENAGGIO	m ²	2.332	300	699.600
2	REALIZZAZIONE TAXIWAY COMPLETE DI LUCI E RETE DI DRENAGGIO	m ²	7.425	170	1.262.250
3	INSTALLAZIONE TORRI FARO COMPLETE DI FONDAZIONE, TORRE, CORONA MOBILE E LAMPADE	cad.	2	25.000	50.000
4	LAVORAZIONI NON COMPUTABILI	%	20	2.011.850	402.370
TOTALE ARROTONDATO					2.414.300

Tabella 34: stima economica ipotesi due

IPOTESI TRE					
N.	DESCRIZ.	U.M.	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO [€]	IMPORTO [€]
1	REALIZZAZIONE PIAZZOLA DE-ICING COMPLETA DI LUCI E RETE DI DRENAGGIO	m ²	2.332	300	699.600
2	REALIZZAZIONE TAXIWAY COMPLETE DI LUCI E RETE DI DRENAGGIO	m ²	11.103	170	1.887.510
3	INSTALLAZIONE TORRI FARO COMPLETE DI FONDAZIONE, TORRE, CORONA MOBILE E LAMPADE	cad.	2	25.000	50.000
4	DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE SEPARATORE IDROCARBURI	cad.	1	700.000	700.000
5	LAVORAZIONI NON COMPUTABILI	%	20	3.337.110	667.422
TOTALE ARROTONDATO					4.004.600

Tabella 35: stima economica ipotesi tre

7. CONCLUSIONI

Lo studio oggetto di questa tesi ha preso spunto da un'esigenza relativa alla costruzione di una piazzola adibita esclusivamente alle operazioni di de-icing presso l'Aeroporto di Torino "Sandro Pertini". La sua realizzazione permetterebbe, infatti, di evitare problemi di interazioni tra i trattamenti e le ulteriori operazioni che vengono normalmente eseguite nei piazzali di sosta aeromobili, di far defluire il liquido utilizzato per il de-icing in un canale di scolo apposito confluyente nelle vasche di prima pioggia, di ridurre il tempo intercorrente tra la fine dei trattamenti ed il decollo degli aeromobili.

Diversi sono gli aspetti che sono stati considerati per individuare le soluzioni ottimali. Innanzi tutti sono stati valutati gli spazi a disposizione dell'Aeroporto di Torino: considerato che il 98% dei voli parte dalla pista 36, è stato ritenuto opportuno utilizzare l'area posta a sud-ovest dell'estremità sud della pista 18/36 come luogo di ipotetica costruzione della piazzola. Lo studio del traffico aereo ha permesso di determinare per quali classi ICAO di aerei pre-dimensionare la piazzola: poiché gli aerei di categoria D, E ed F compongono complessivamente solo il 0,59% della flotta aeroportuale, è stato ritenuto ragionevole dimensionare la piazzola per le categorie di aeromobili inferiori ad esse, ovvero A, B e C. Gli ulteriori aspetti considerati per la formulazione delle varie ipotesi sono stati di carattere aeronautico, intesi sia come possibili conseguenze sull'agibilità aeroportuale, sia come problemi di interazione con le superfici di delimitazione degli ostacoli. Quest'ultima questione riguarda sia le superfici degli aeromobili, in particolare il piano di coda (parte più alta dei velivoli), sia le torri faro, la cui installazione è necessaria per una corretta illuminazione dell'aereo su cui effettuare il trattamento di de-icing.

Tra le sei ipotesi considerate preliminarmente, due sono state portate avanti con maggior dettaglio in base alle considerazioni sopraesposte. Si tratta di due soluzioni che contemplano la costruzione di nuove vie di rullaggio nella zona posta a sud-ovest del raccordo Golf: procedendo in questa maniera si è scelto di non alterare la presente agibilità aeroportuale e di non rimuovere spazi destinati alla sosta degli aeromobili.

L'analisi approfondita ha riguardato l'analisi geometrica e strutturale, nonché la stima economica finale.

Nel corso dell'analisi geometrica, si è proceduto dunque con il dimensionamento definitivo della piazzola e delle taxiway, dei raccordi curvi, di pendenze longitudinali e trasversali. È stata stabilita, inoltre, l'altezza e la posizione delle torri faro eventualmente da installare e la localizzazione delle barriere anti jet-blast.

Successivamente, nell'ambito dell'analisi strutturale, è stato effettuato il dimensionamento della sovrastruttura sia della piazzola de-icing, sia delle taxiway a servizio della piazzola stessa. In particolare, utilizzando il software "FAARFIELD" della FAA, sono stati determinati gli spessori dei vari strati di pavimentazione, progettati per poter ospitare il traffico aereo assegnato. Il risultato è indipendente dall'ipotesi considerata. Per quanto riguarda le taxiway, queste sono state concepite in pavimentazione flessibile con uno spessore di conglomerato bituminoso di 25 cm, suddivisi in 4 cm di usura, 6 cm di binder e 15 cm di base; al di sotto di esso, vengono posti due strati di 15 cm in misto granulare, rispettivamente P-209 e P-154. Per quanto riguarda la piazzola de-icing, questa è stata concepita in pavimentazione rigida, con una lastra superficiale in calcestruzzo di 40 cm e, al di sotto di essa, uno strato di 15 cm in misto cementato P-304 e uno strato di 15 cm in misto granulare P-154. Utilizzando il software "COMFAA", inoltre, è stato possibile assegnare alle due pavimentazioni un indice PCN, rappresentativo della capacità portante. Questo risulta essere, per le taxiway, 89/F/B/X/T, mentre, per la piazzola, 66/R/B/W/T. Gli indici ACN calcolati, rappresentativi dell'effetto del singolo aeromobile sulla pavimentazione, risultano essere inferiori numericamente al valore del PCN: ciò significa che la pavimentazione progettata potrebbe regolarmente ospitare tutti gli aeromobili della flotta di classe ICAO A, B e C.

Effettuata, infine, la stima economica, è risultato evidente come la soluzione numero tre comporti un ben più elevato esborso economico e, conseguentemente, anche un tempo più esteso di lavorazioni: la principale differenza nei costi è dovuta al fatto che, in tale ipotesi, è necessaria la rimozione e rilocazione del separatore degli idrocarburi.

Dai risultati ottenuti nelle varie analisi si possono dedurre i principali vantaggi e svantaggi che ognuna delle due soluzioni comporterebbe. Per quanto riguarda l'ipotesi numero due, il problema principale è legato all'illuminazione dell'aeromobile che, lungo il lato est della piazzola e soprattutto sul piano di coda, dovrebbe essere illuminato direttamente dai mezzi adibiti alle operazioni di de-icing. Tuttavia, per tale soluzione, installando una holding position al termine della piazzola, non emergono problemi relativi all'interazione con la superficie di avvicinamento. Per quanto riguarda l'ipotesi numero tre, al contrario, le torri faro garantirebbero un'adeguata illuminazione, ma risulterebbe necessario chiedere permesso speciale all'ente ENAV relativamente allo sfioramento della superficie di avvicinamento per circa 100 m di lunghezza della taxiway che precede la piazzola de-icing. L'ulteriore svantaggio che la soluzione tre comporta, chiaramente, è il maggior esborso economico.

Come già ribadito, il presente lavoro è uno studio pilota e non un progetto definitivo. L'obiettivo che si spera aver raggiunto è quello di aver gettato le basi

per poter procedere ad una progettazione di dettaglio, nella quale si deve tener conto di tutti i fattori non considerati precedentemente.

8. BIBLIOGRAFIA

1. United States Environmental Protection Agency, *“Preliminary Data Summary, Airport Deicing Operations (Revised)”*, 2000;
2. Arzt O., *“Station Deicing vs. Traditional Deicing”*, <http://www.aviationpros.com/article/12334334/station-deicing-vs-traditional-deicing>, 2017;
3. Thompson P., *“How And Why We 'De-Ice' Aircraft Before Takeoff”*, <https://jalopnik.com/how-and-why-we-de-ice-aircraft-before-takeoff-1657914108>, 2014;
4. SKYbrary, *“Holdover Time”*, https://www.skybrary.aero/index.php/Holdover_Time, 2017;
5. Aviation Trouble Shooting, *“Future of Deicing Technology and Effective Training for Flight in Icing Conditions”*, <http://aviationtroubleshooting.blogspot.it/2011/01/future-of-deicing-technology-and.html>, 2011;
6. Vasilyeva A., *“Aircraft Deicing Operations, Final Project”*, 2009;
7. Angelo W.J., *“New Deicing Technology May Save Groundwater”*, 2007;
8. One Works, *“Studio Aeronautico Piazzola de-icing”*, 2015;
9. Materiale didattico del corso di *“Progetto di Infrastrutture Viarie”*, Politecnico di Torino, A.A. 2016/2017;
10. Horonjeff R., McKelvey F.X., *“Planning & Design Of Airports”*, Fourth Edition, 1994;
11. European Aviation Safety Agency, *“Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design CS-ADR-SN”*, Issue 4, 2017;
12. Ente Nazionale Aviazione Civile, *“Regolamento per la Costruzione e l’Esercizio degli Aeroporti”*, 2003
13. Sagat S.p.A., *“Manuale Aerodrome Safety”*, 2014;
14. S.E.A. Progettazione, *“Aeroporto Milano Linate: Nuova area de-icing piazzale nord, Relazione Generale”*, gennaio 2017;
15. Innovative Pavement Research Foundation, *“Design and Construction of Concrete Pavement for Aircraft De-icing Facilities”*, 2006

16. Institute of Asphalt, Dehdezi P.K., Widyatmoko I., *“De-Icing/Anti-Icing Agents and their effects on Airfield Asphalt Pavements”*, 2015;
17. Airport Cooperative Research Program, *“Impact of Airport Pavement Deicing Products on Aircraft and Airfield Infrastructure”*, 2008;
18. Federal Aviation Administration, *“FAARFIELD 1.3 Hands on Training, Data Entry”*, 2011;
19. Federal Aviation Administration, *“Advisory Circular 150/5320-6F”*, 2016;
20. Federal Aviation Administration, *“Advisory Circular 150/5370-10G”*, 2014;
21. Federal Aviation Administration, *“Advisory Circular 150/5335-5C”*, 2014;
22. Federal Highway Administration, *“Bases and Subbases for Concrete Pavements”*, 2017;
23. Materiale didattico del corso di *“Costruzione di Strade, Ferrovie ed Aeroporti”*, Politecnico di Torino, A.A. 2015/2016;
24. Materiale didattico del corso di *“Sovrastrutture stradali, ferroviarie e aeroportuali”*, Politecnico di Torino, A.A. 2016/2017;
25. Santagata E., Baglieri O., *“Valutazione del PCN delle pavimentazioni aeroportuali”*, in *Strade & Autostrade*, 2013;

9. ALLEGATI

9.1 ALLEGATO A (IPOTESI 2) – TAV.1 – TAV.2 – TAV. 3



POLITECNICO DI TORINO

TORINO AIRPORT
CONNECTED TO



SAGAT

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

STUDIO PILOTA PER LA FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DI UNA PIAZZOLA ADIBITA ALLE OPERAZIONI DI DE-ICING E ANTI-ICING PRESSO L'AEROPORTO DI TORINO "SANDRO PERTINI"

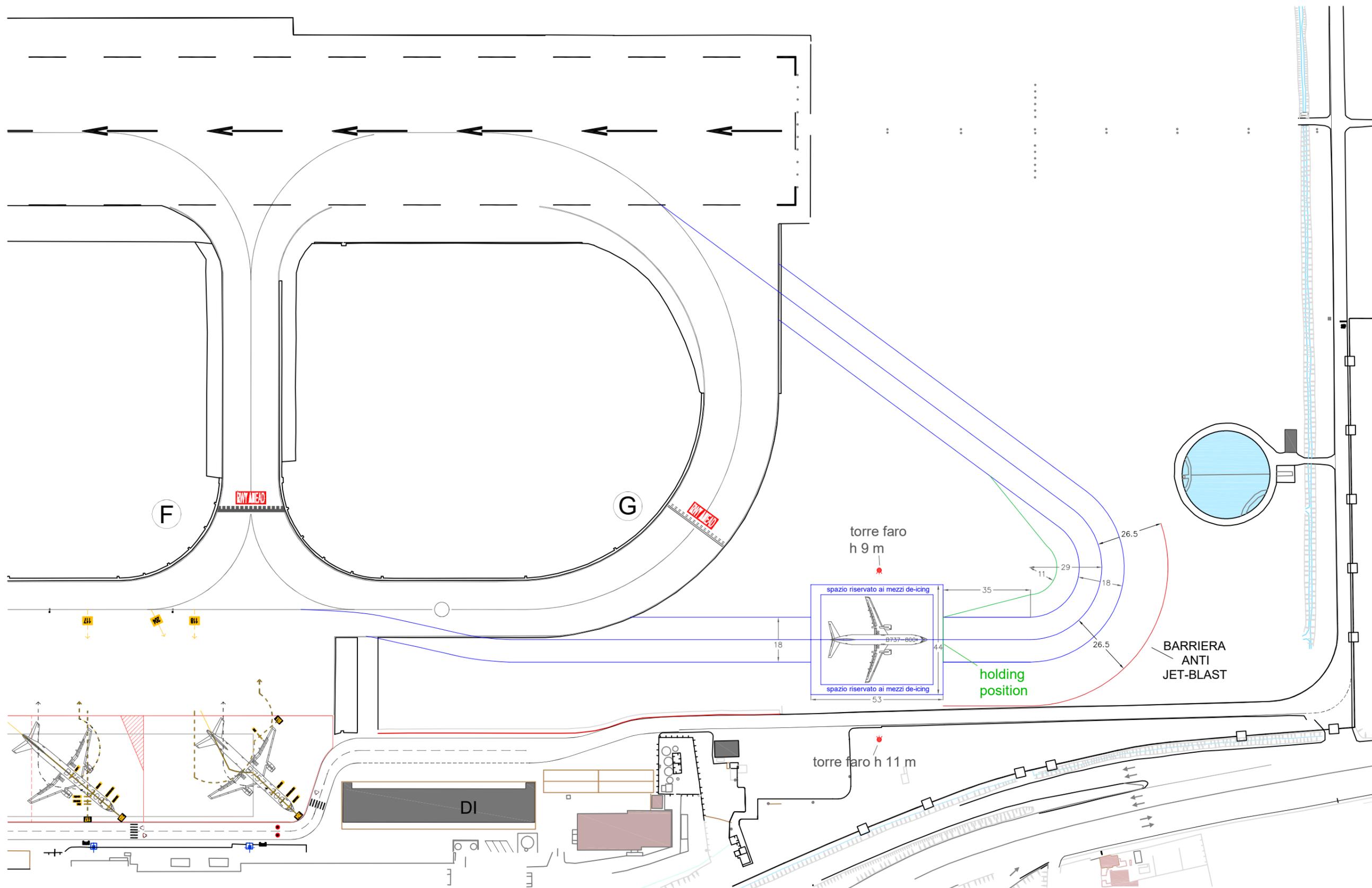
Relatore: Prof. Ing. Orazio Baglieri

Co-relatore aziendale: Ing. Maurizio Primo

Studente: Lorenzo Traverso

TAV. 1

Scala:
1:1500





POLITECNICO DI TORINO

TORINO AIRPORT
CONNECTED TO



SAGAT

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

STUDIO PILOTA PER LA FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DI UNA PIAZZOLA ADIBITA ALLE OPERAZIONI DI DE-ICING E ANTI-ICING PRESSO L'AEROPORTO DI TORINO "SANDRO PERTINI"

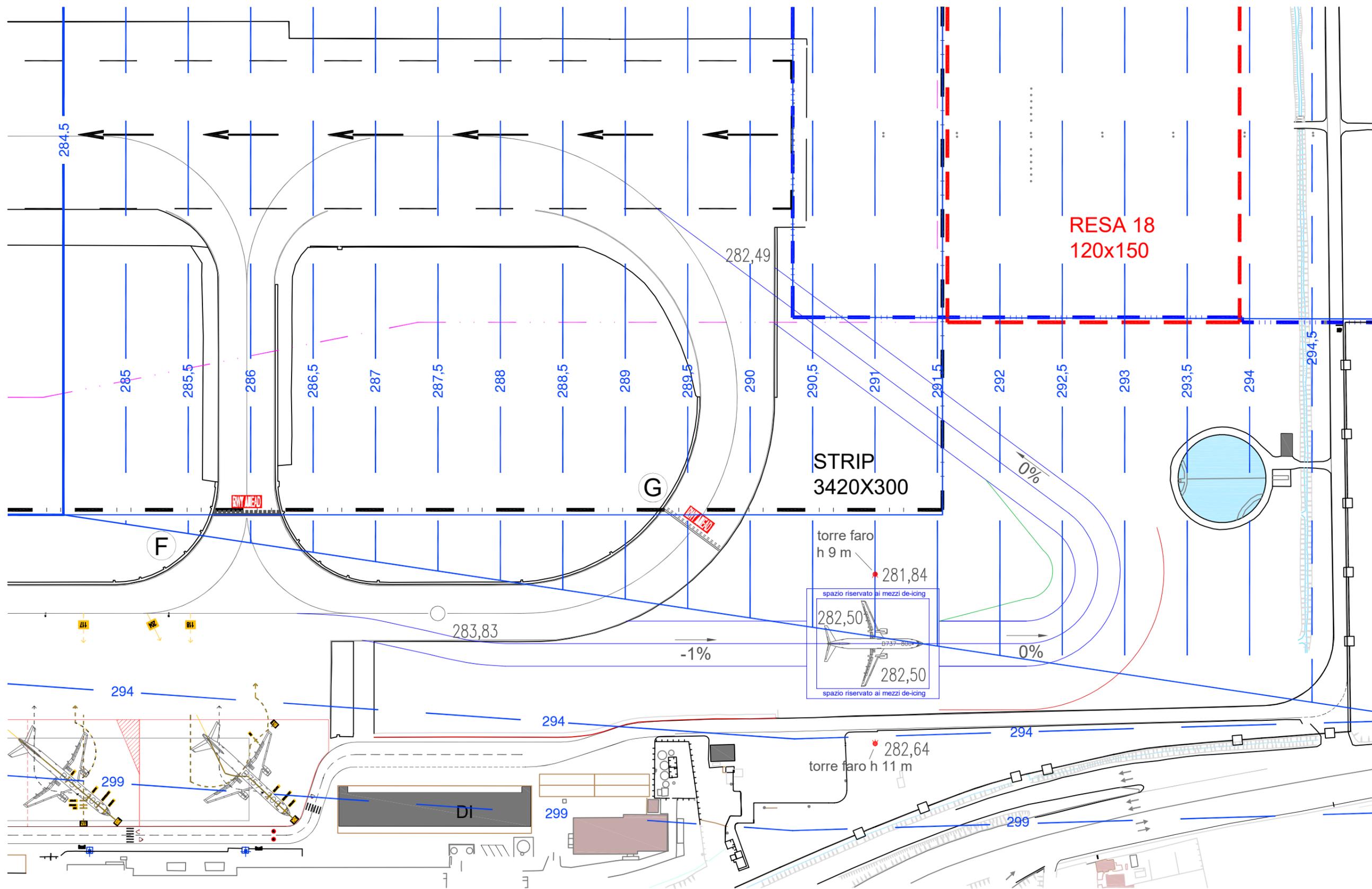
Relatore: Prof. Ing. Orazio Baglieri

Co-relatore aziendale: Ing. Maurizio Primo

Studente: Lorenzo Traverso

TAV. 2

Scala:
1:1500



9.2 ALLEGATO B (IPOTESI 3) – TAV.4 – TAV.5 – TAV. 6



POLITECNICO DI TORINO

TORINO AIRPORT
CONNECTED TO



SAGAT

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

STUDIO PILOTA PER LA FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DI UNA PIAZZOLA ADIBITA ALLE OPERAZIONI DI DE-ICING E ANTI-ICING PRESSO L'AEROPORTO DI TORINO "SANDRO PERTINI"

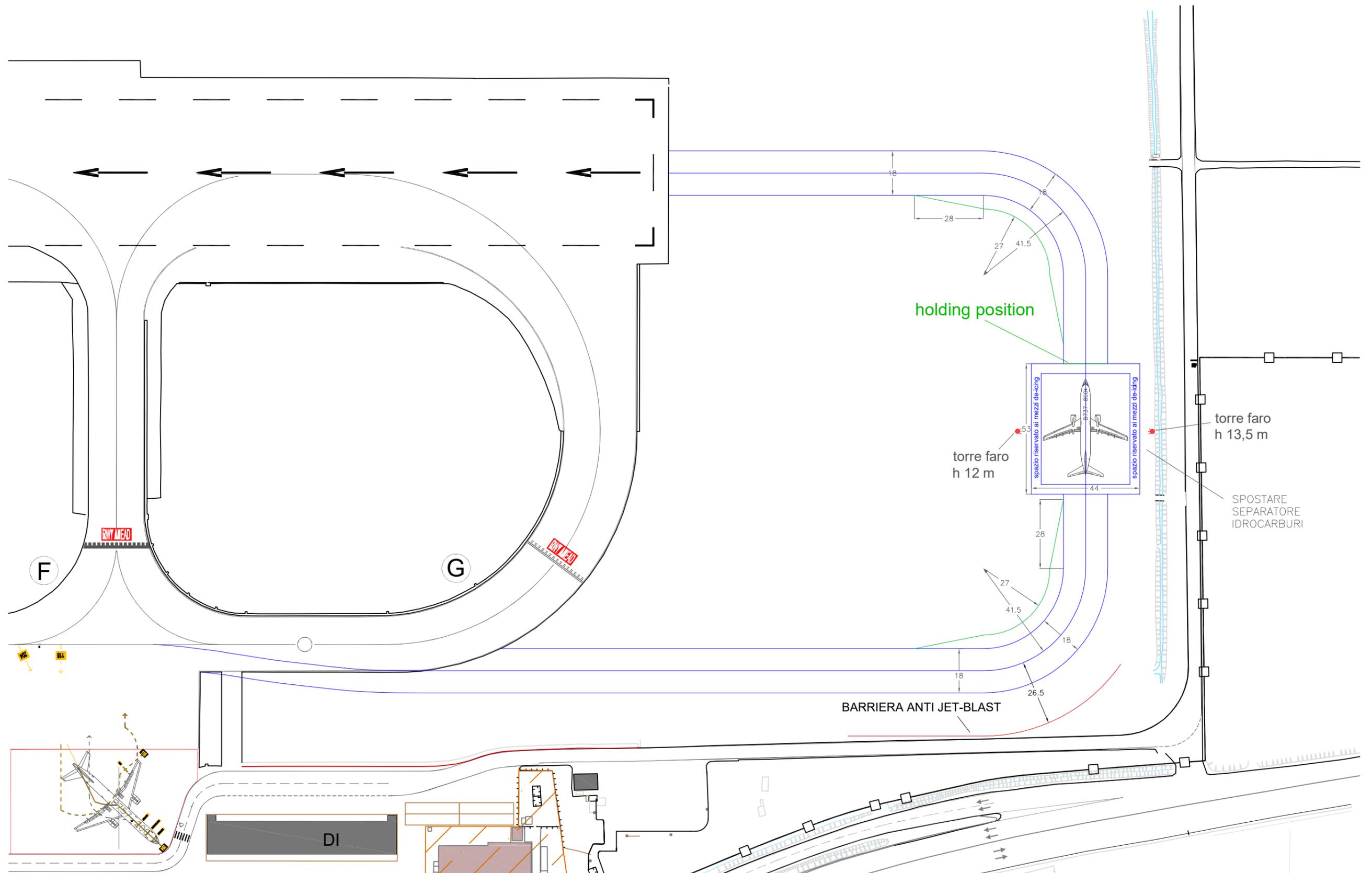
Relatore: Prof. Ing. Orazio Baglieri

Co-relatore aziendale: Ing. Maurizio Primo

Studente: Lorenzo Traverso

TAV. 4

Scala:
1:1500





POLITECNICO DI TORINO

TORINO AIRPORT
CONNECTED TO



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

STUDIO PILOTA PER LA FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DI UNA PIAZZOLA ADIBITA ALLE OPERAZIONI DI DE-ICING E ANTI-ICING PRESSO L'AEROPORTO DI TORINO "SANDRO PERTINI"

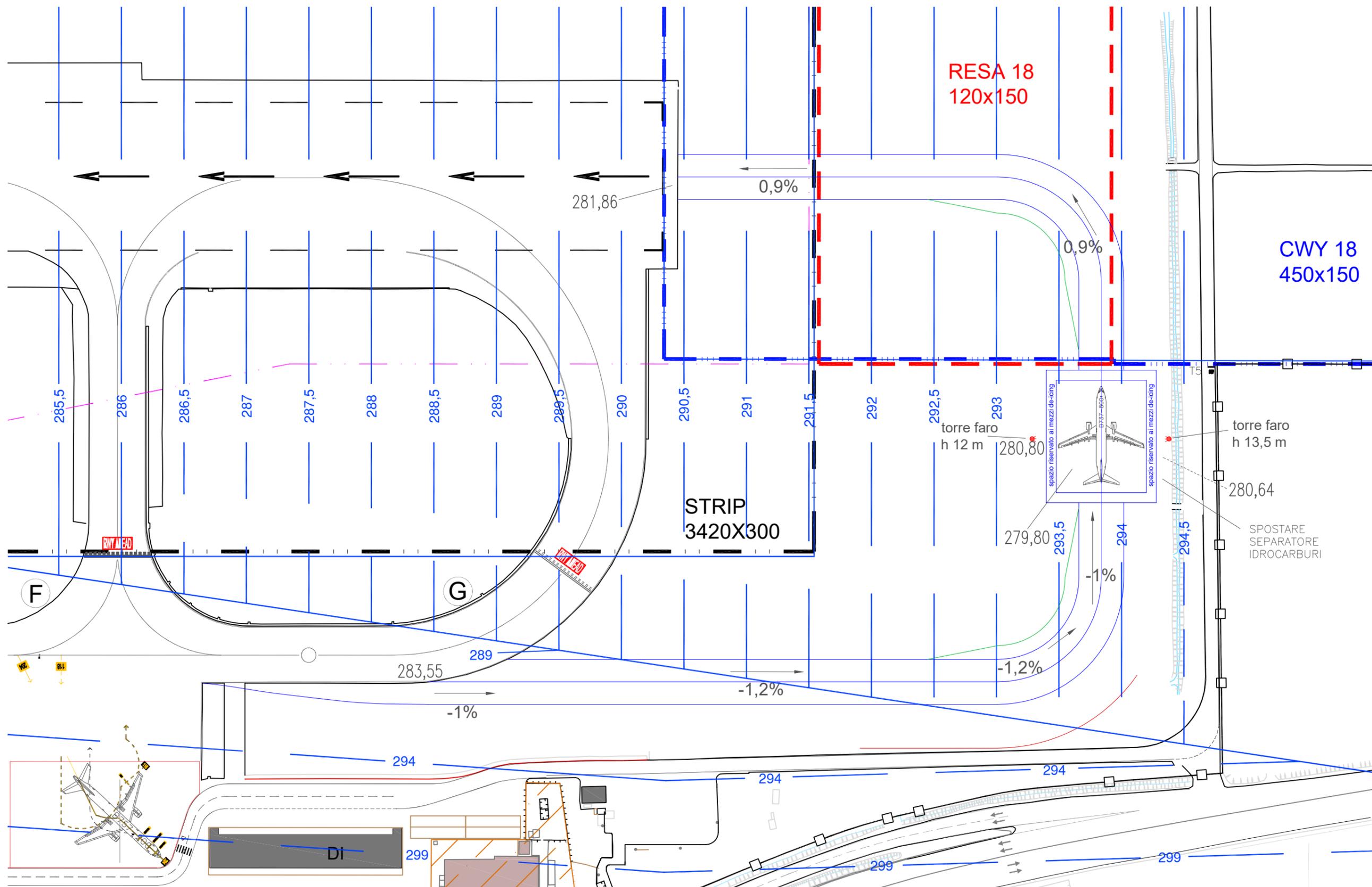
Relatore: Prof. Ing. Orazio Baglieri

Co-relatore aziendale: Ing. Maurizio Primo

Studente: Lorenzo Traverso

TAV. 5

Scala:
1:1500





POLITECNICO DI TORINO

TORINO AIRPORT
CONNECTED TO



SAGAT

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

STUDIO PILOTA PER LA FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DI UNA PIAZZOLA ADIBITA ALLE OPERAZIONI DI DE-ICING E ANTI-ICING PRESSO L'AEROPORTO DI TORINO "SANDRO PERTINI"

Relatore: Prof. Ing. Orazio Baglieri

Co-relatore aziendale: Ing. Maurizio Primo

Studente: Lorenzo Traverso

TAV. 6

Scala:
1:1500

