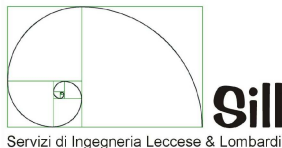


Progettista:



Fedora G. LOMBARDI
INGEGNERE

Via G. Garibaldi 77
56124 Pisa (PI)
tel./fax: 050 9711303
e-mail: fgl@sill-ing.it



Committente:



Società Esercizio Aeroporto Maremma

AEROPORTO CIVILE DI GROSSETO

via Orcagna, 125
58100 GROSSETO (GR)

tel.: 0564 492779
fax: 0564 493099
e-mail: seam@gol.grosseto.it



Accountable Manager:

Tommaso FRANCALANCI

Post Holder Infrastrutture Sistemi:

Fedora G. LOMBARDI

Post Holder Terminal e Movimento:

Luca LEONZI

RUP:

Massimo LUSCHI

**AMPLIAMENTO PIAZZALE
DI SOSTA AEROMOBILI**



PROGETTO ESECUTIVO

	data: DICEMBRE 2018	oggetto: RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE

1. Premessa

L'intervento di cui trattasi, relativo all'*ampliamento piazzali di sosta aeromobili* a servizio dello scalo civile di Grosseto, prevede la realizzazione di circa 3000 m² di nuova superficie pavimentata.

Essendo l'apron attuale realizzato con pavimentazione del tipo rigida costituita da lastroni in conglomerato cementizio, la scelta progettuale è stata quella di prevedere una pavimentazione analoga anche per la nuova area.

Il calcolo del pacchetto della pavimentazione è stato effettuato nel rispetto degli standard fissati dall'Ente statunitense FAA - Federal Aviation Administration con la circolare AC n.: 150/5320-6F *Airport Pavement Design and Evaluation*, con l'ausilio del software di calcolo FAARFIELD v 1.42.0003, che lo stesso ente rende disponibile in libero download dal sito web <http://www.faa.gov>.

2. Calcolo delle pavimentazioni

Il software FAARFIELD consente il dimensionamento degli spessori dei diversi strati che costituiscono il pacchetto della pavimentazione secondo un metodo di calcolo basato sul modello strutturale a multistrato elastico e ad elementi finiti tridimensionali, partendo dagli input relativi ai dati geotecnici del terreno ed ai dati di traffico.

La procedura di calcolo richiede i seguenti parametri di input:

- costante di sottofondo k ;
- caratteristiche degli aeromobili che costituiscono il mix di traffico previsto, con riferimento al peso lordo massimo al decollo e alla tipologia dei carrelli principali (pressioni di gonfiaggio, raggio di impronta, posizione dei carichi) assumendo che il 95% del peso dell'aeroplano si scarichi sul carrello principale;
- entità del traffico valutato in base al numero partenze annue di ciascuna tipologia di aeromobile e al rapporto P/TC (passaggi/ciclo di traffico);
- disposizione tipologia e spessori degli strati previsti;
- dimensionamento dello spessore dello strato superficiale di calcestruzzo.

La costante di sottofondo K [MN/m³] anche detta costante di Winkler è stata valutata sulla base dei risultati delle indagini geologiche raccolte nella "Relazione Geologica-Geotecnica" redatta il 20/03/1998 dal Dr. Geologo Pieraccini Luigi per l'ampliamento dell'aeroporto civile di Grosseto che fornisce la

classificazione granulometrica per i diversi strati di terreno (vedi

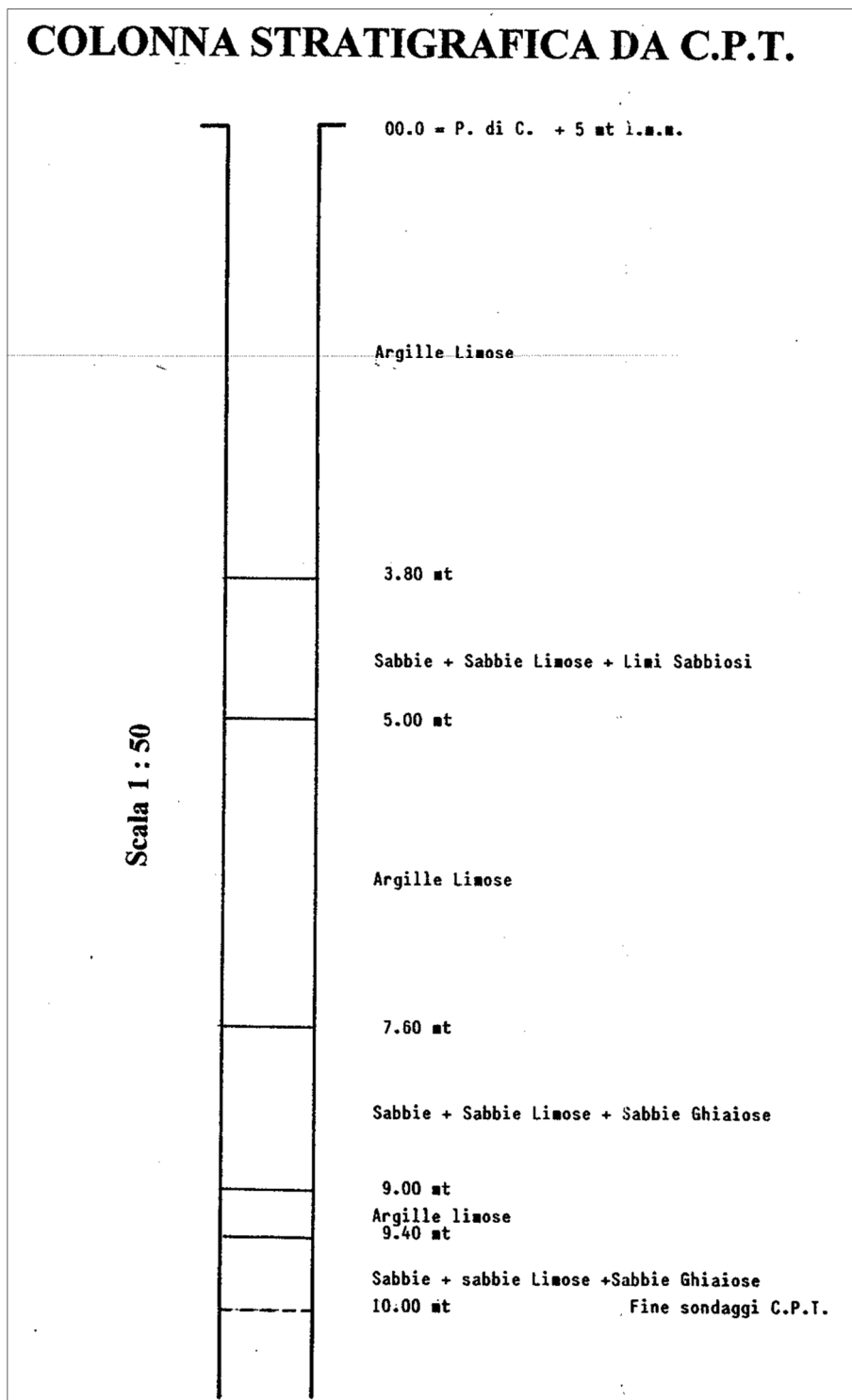


Figura 1).

Nota la stratigrafia del terreno la costante K può essere valutata attraverso la classifica dei terreni di Casagrande (vedi Figura 2). Considerato che gli strati maggiormente interessati dagli effetti del carico generato dalla pavimentazione saranno quelli superficiali costituiti prevalentemente da argille limose, si ottiene:

- valore minimo dell'indice CBR = 4

- $K[\text{pci libbre/pollici}^2] = 28.6926 \cdot \text{CBR}^{0.7788} = 84,46 \text{ pci}$
- $K [\text{kg/cm}^3] = 0,02768 K[\text{pci}] = 2,34 \text{ kg/cm}^3$

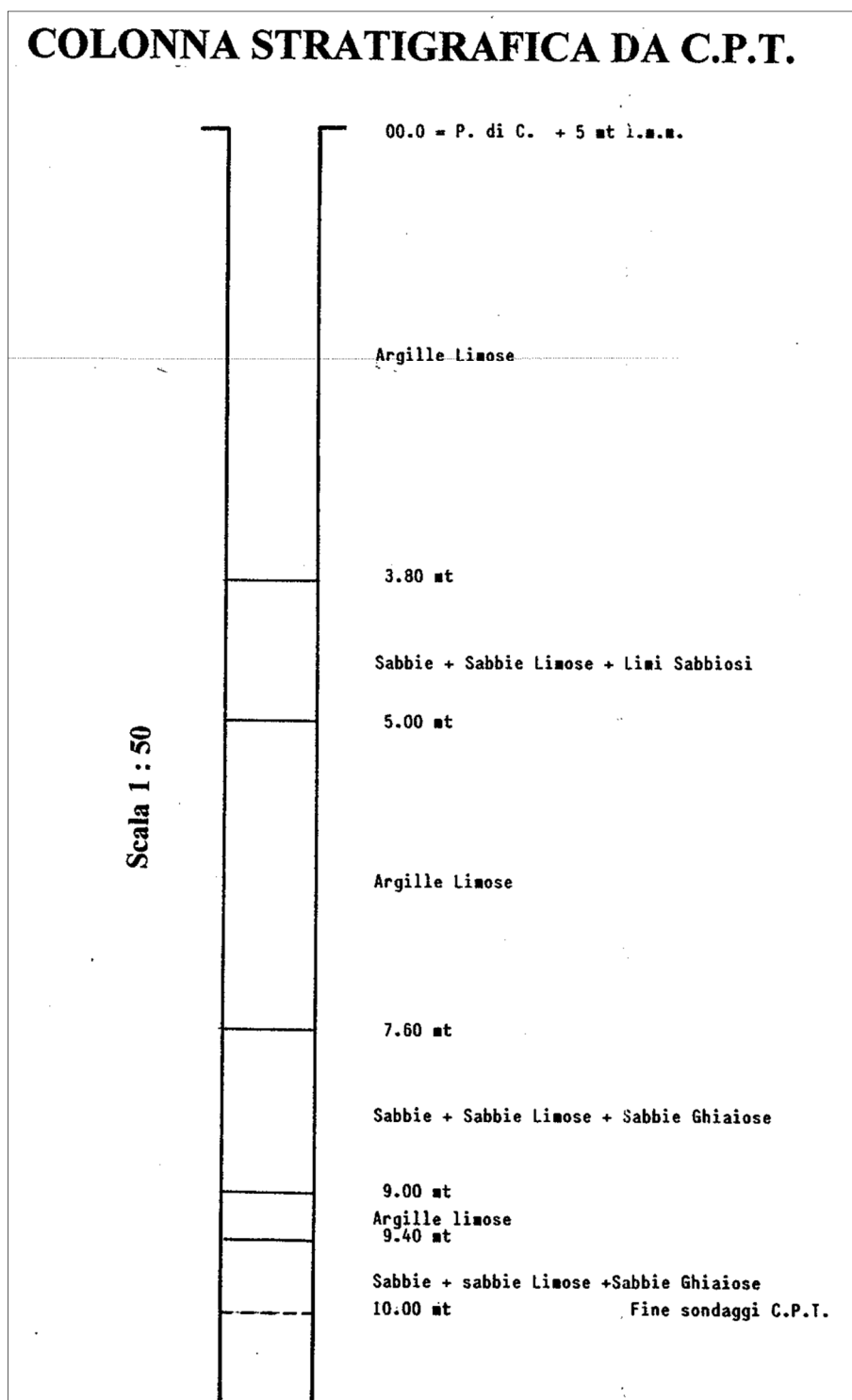


Figura 1 – caratteristiche stratigrafiche del terreno in area Apron

tipo di terra	stagia	NOME	Comportamento come fondazione	Comportamento come strato di base	Azione del gelo	Compressibilità ed espansione	Caratteristiche del drenaggio	Macchine per il costipamento	Peso per unità di volume (N / m ³)	C B R	K (MPa/m)	
terre a grana grossa (terre ghiaioso-sabbiose) CBR	ghiaia o terreno ghiaioso	GV	Ghiaia o ghiaia sabbiosa ben graduata	eccellente	buono	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gommato trattore cingolato	20.000 - 22.500	60 - 80	≥ 80
		GP	Ghiaia o ghiaia sabbiosa poco graduata	da eccellente a buono	da scadente a discreto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gommato trattore cingolato	19.000 - 21.000	35 - 60	≥ 80
		GU	Ghiaia o ghiaia sabbiosa uniforme	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommato trattore cingolato	18.500 - 20.000	25 - 60	≥ 80
		GN	Ghiaia limosa o ghiaia sabbia limosa	da eccellente a buono	da discreto a buono	da lieve a media	molto lieve	da discreto a scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	21.000 - 23.000	10 - 60	≥ 80
		GC	Ghiaia argillosa o ghiaia sabbia argillosa	buono	scadente	da lieve a media	lieve	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	19.000 - 22.500	20 - 40	≥ 80
	sabbie o terreno sabbioso	SV	Sabbia o sabbia ghiaiosa ben graduata	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommato trattore cingolato	17.500 - 21.000	20 - 40	60 - 80
		SP	Sabbia o sabbia ghiaiosa poco graduata	da discreto a buono	scadente o inadatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommato trattore cingolato	17.000 - 19.000	15 - 25	60 - 80
		SV	Sabbia o sabbia ghiaiosa uniforme	da discreto a buono	non adatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gommato trattore cingolato	16.000 - 18.500	10 - 20	60 - 80
		SN	Sabbia limosa o sabbia limo-ghiaiosa	buono	scadente	da lieve a bassa	molto lieve	da discreto a scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	19.000 - 21.500	20 - 40	60 - 80
		SC	Sabbia argillosa o sabbia argillosa-ghiaiosa	da discreto a buono	non adatto	da lieve a bassa	da lieve a media	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	17.000 - 21.000	10 - 20	60 - 80
terre a grana fine (terre limo-argillose) CBR elevata compressibilità 11 < 50	HL	Limo, sabbia limosa, limo ghiaioso	da discreto a scadente	non adatto	da media a molto bassa	da lieve a media	da discreto a scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 60	
	CL	Argille magre argille sabbiose o ghiaiose	da discreto a scadente	non adatto	da media a bassa	media	praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 60	
	OL	Limi organici o argille organiche magre	scadente	non adatto	da media a bassa	da media a bassa	scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	4 - 8	30 - 60	
	HL	Argille micacee	scadente	non adatto	da media a molto bassa	bassa	da discreto a scadente	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 16.000	4 - 8	30 - 60	
	CM	Argille grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	3 - 5	15 - 30	
	OM	Argille organiche grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gommato Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 17.000	3 - 5	15 - 30	
Torbe o altre terre organ. di fibro	Pt	Torba, humus ed altro	non adatto	non adatto	lieve	molto bassa	da discreto a scadente	non eseguibile il costipamento	—	—	—	

Figura 2 – Classifica dei terreni di Casagrande

Il mix relativo al traffico di progetto è stato definito sulla base dei dati di traffico inerenti i movimenti in arrivo e in partenza registrati negli ultimi tre anni da SEAM e riassunti in Tabella 1 – Movimenti aa/mm: dati complessivi triennio 2015-2017.

TIPOLOGIA DI MOVIMENTI	2015	2016	2017
Charter	14	8	86
Commerciali	870	1.018	1.137
Privati	365	408	354
Privati < 5 tonnellate	8	16	14
Subtotali	1.257	1.450	1.591
Ambulanza	44	12	24
Non autorizzati	4	0	10
TOTALI	1.305	1.462	1.625

Tabella 1 – Movimenti aa/mm: dati complessivi triennio 2015-2017

Per le varie tipologie di movimenti sono stati considerati i modelli di aeromobili che fanno abitualmente scalo presso l'aeroporto di Grosseto tenendo conto di un margine di incremento sui passaggi annuali, ottenendo così il *mix di traffico di progetto* descritto in Tabella 2 nel quale si è anche prevista la possibilità di utilizzo da parte dei Boeing 737-300 e 737-800.

Nella tabella 2 sono riportate le informazioni inerenti la tipologia di velivolo presa a riferimento con indicazione dei dati necessari.

L'entità del traffico annuo è stata calcolata, come richiesto dalla procedura FAA, considerando il prodotto tra il numero di partenze annue e il rapporto P/TC (dove "P" è il n. di passaggi; TC è il n. di cicli di traffico costituiti da una partenza/decollo e il successivo arrivo/atterraggio).

La FAA definisce quale ciclo di traffico standard (TC) del singolo aeromobile quello costituito da una partenza/decollo e dal suo successivo arrivo/atterraggio nello stesso aeroporto; in base a tale definizione ad ogni partenza dell'aeromobile corrisponde un ciclo di traffico. Ai fini del calcolo degli spessori della pavimentazione si tiene conto dei passaggi (P) effettuati sulla stessa da ciascun aeromobile nella sola fase di partenza relativa ad un ciclo di traffico, escludendo i passaggi effettuati all'arrivo poiché in genere il peso in tale fase è significativamente più basso di quello al decollo per via del consumo di carburante durante il volo; nel caso specifico si può assumere che P/TC pari ad 1.

Il mix di traffico di calcolo definito in base alle considerazioni fatte risulta pertanto quello riportato nella tabella 2 che segue.

N.	Mod.	Peso [ton]	Passaggi annuali	Pressione pneumatici [kPa]	% peso su carrello principale	Dual Spacing [mm]	Tandem Spacing [mm]	Tire Contact Width [mm]	Tire Contact Length [mm]
1	B737-300	63,503	100	1386	95	774,7	0,0	291,4	466,3
2	B737-800	79,243	100	1407	95	863,6	0,0	323	517,0
3	Falcon-900	22,000	470	1066	95	355,6	0,0	195,6	313,0
4	Gulfstream-G-IV	34,019	300	1276	95	400,1	0,0	222,3	355,7
5	Gulfstream-G-V	42,000	450	1320	95	469,9	0,0	242,8	388,5
6	Laerjet-55	10,000	310	1421	95	304,8	0,0	114,2	182,7
7	BeechJet-400	5,000	260	441	95	0,0	0,0	204,9	327,9

Tabella 2 – Mix di traffico di progetto

I materiali che costituiranno gli strati della pavimentazione e la loro disposizione sono stati definiti in accordo con quanto prescritto dalle circolari della Federal Aviation Administration AC n°: 150/5320-6F “Airport Pavement Design and Evaluation” e AC n. 150/5370-10G “Standards for Specifying Construction of Airports”, oltre che con le pratiche di buona tecnica ormai consolidate.

La pavimentazione rigida sarà quindi costituita, come illustrato in Figura 3, da uno strato superficiale in cemento portland (surface course) e dagli strati di base (base course) e fondazione (subbase course) realizzati con materiale granulare frantumato di cava; lo strato di fondazione poggerà direttamente sul terreno (subgrade). In particolare per lo strato di base si è scelto l’impiego di misto granulare di cava stabilizzato con cemento in accordo con quanto consigliato dalla circolare AC 150/5320-6F nel caso di pavimentazioni destinate a velivoli di peso superiore a 45,359 ton (100.000,00 lbs) in modo da garantire una maggiore durabilità della pavimentazione.

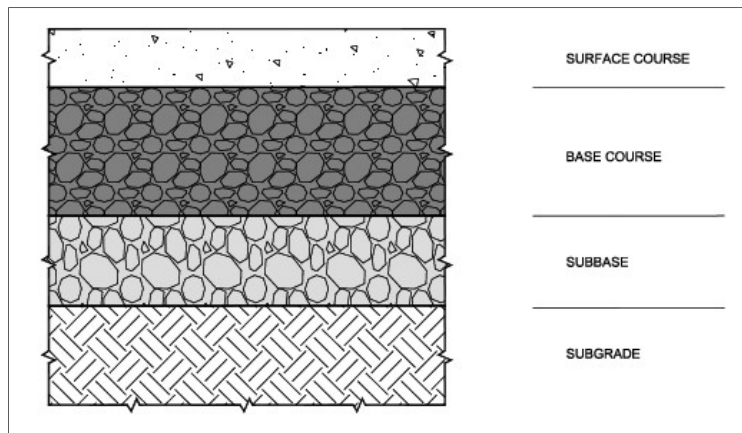


Figura 3 – Tipica struttura di una pavimentazione rigida

Nel dettaglio gli strati previsti sono i seguenti:

- superficie: PCC Surface / cemento portland
Modulo elastico 4.48 MPa
Spessore prefissato 320 mm (min. consentito 150mm)
- base: P-304 CTB Stabilized Rigid / Misto granulare frantumato stabilizzato con cemento
Modulo elastico 3.447,38 MPa
Spessore prefissato 200 mm h(min. consentito 125mm)
- fondazione: P-209 Crushed Aggregate / Misto granulare frantumato
Modulo elastico 49,09 MPa
Spessore prefissato 400 mm (min. consentito 150mm)

Per una definizione più puntuale sulla composizione dei differenti strati si rimanda al disciplinare descrittivo e prestazionale.

La vita utile di progetto della pavimentazione è stata fissata pari a **20 anni** in accordo con quanto previsto dagli standard FAA.

Il calcolo eseguito con il software FAARFIELD è basato sull'analisi dei danni provocati alla pavimentazione da ciascun velivolo nell'arco della vita utile della struttura, dipendenti dalle caratteristiche del carrello principale e dal peso degli aeromobili, e sul conseguente calcolo di un fattore di danno cumulativo totale (CDF) che tiene conto degli effetti di tutti gli aeromobili inseriti nel mix di traffico.

Sulla base dei parametri descritti l'elaborazione con il software ha determinato uno spessore minimo dello strato superficiale in calcestruzzo pari a 311,3 mm, come definito nell'output del software di seguito allegato (Allegato1), da cui discende la scelta di realizzare lastroni di spessore 320 mm.

3. Indicazioni costruttive

La pavimentazione sarà costituita da lastroni in conglomerato cementizio non armato di spessore pari a 320 mm, come risultato dal calcolo.

Il dato è risultato congruente con lo spessore dei lastroni esistenti che essendo in operatività da più di 20 anni (fine anni '70 quelli più datati) e da circa 20 anni quelli di più recente realizzazione (anno 2000) ad oggi non denotano problemi evidenti né di cedimento né di usura/deterioramento.

La conformazione dei giunti e la disposizione così come la geometria dei lastroni 500x500 cm sono scaturiti dalle valutazioni condotte sulle pendenze da conferire alla nuova pavimentazione perché risultasse idonea all'attacco con la pavimentazione dei piazzali esistenti su un lato ed alla viabilità di servizio sugli altri due, solo un lato dell'area di intervento risulta infatti libera verso prato.

Tale condizione è stata molto vincolante ed ha portato, dopo varie valutazioni, alla scelta proposta considerata quella di miglior compromesso anche per avere sulle zone perimetrali di attacco lastroni di dimensioni varie (non quadrati) ma senza eccedere troppo nella lunghezza del lato maggiore.

I giunti come riportati nella tavola di progetto PD 06 sono di tre tipologie: di contrazione, di costruzione e di isolamento.

I giunti di contrazione sono realizzati a seguito del completamento del getto di una fascia mediante l'impiego di frese da cemento e dividono i singoli lastroni.

I giunti di costruzione vengono realizzati quando i lastroni vengono gettati in giorni successivi. Considerato che è previsto l'uso della pavimentazione da parte di aerei di peso superiore a 13610kg in accordo con la circolare FAA AC150-5320-6F essi saranno realizzati con l'inserimento di barrotti di acciaio che lasciati liberi di scorrere nel foro realizzato per l'inserimento nella fascia preesistente, consentono movimenti indipendenti tra le lastre impedendo però gli eventuali cedimenti differenziali.

I giunti di isolamento sono quelli da prevedere lungo il bordo di confine tra la pavimentazione e una struttura adiacente o per isolare le pavimentazioni intersecanti in cui possono verificarsi differenze nella direzione di movimento delle pavimentazioni. Essi verranno creati aumentando lo spessore della pavimentazione lungo il bordo della lastra.

Per tutte le tipologie di giunto è prevista la protezione con baker rod e sigillatura con materiale specifico per eseguire sigillature di giunti strutturali di dilatazione e di frazionamento su superfici orizzontali poste all'esterno soggetti a movimento più/meno del 25% della dimensione iniziale, tipo Mapeflex PU50 SL o similare.

Le fasce di attacco della nuova pavimentazione verso la viabilità aeroportuale sono state previste in conglomerato bituminoso, in considerazione del fatto che su tali aree le ruote dell'aeromobile non potranno transitare e così da poter meglio modellare la zona di attacco e l'adattamento delle pendenze.

La dimensione dei giunti è stata opportunamente valutata secondo la seguente procedura:

1. è stata calcolata la deformazione delle lastre in funzione del coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo e delle variazioni termiche cui la pavimentazione potrà essere sottoposta nel corso della sua vita utile;

2. è stata definita la larghezza minima del giunto B pari a 14mm (valore assunto da progetto 15mm) considerato che la sua deformazione, pari a quella valutata al punto precedente, non dovrà eccedere la deformazione massima ammissibile dal sigillante impiegato;
3. è stata valutata l'altezza minima D del giunto pari a 11mm (valore assunto da progetto 12mm) in base alla relazione $D=B/3+6\text{mm}$ tratta dalla letteratura tecnica;
4. è stata verificata la deformazione massima del giunto che risulta inferiore al valore massimo ammissibile per il sigillante impiegato.

Per i dettagli costruttivi delle pavimentazioni si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

Pisa, 20 Dicembre 2018

Il Progettista



Allegato 1 – Output software di calcolo FAARFIELD

FAARFIELD

FAARFIELD v 1.42 - Airport Pavement Design

Section D--4-2-4 in Job grosseto2018.

Working directory is C:\Users\Utente Microsoft\Documents\FAARFIELD\

The structure is New Rigid.

Design Life = 20 years.

A design for this section was completed on 10/31/18 at 17:25:41.

Pavement Structure Information by Layer, Top First

No.	Type	Thickness mm	Modulus MPa	Poisson's Ratio	Strength R, MPa
1	PCC Surface	311,3	27.579,03	0,15	4,48
2	P-304 CTB	200,0	3.447,38	0,20	0,00
3	P-209 Cr Ag	400,0	201,52	0,35	0,00
4	Subgrade	0,0	42,47	0,40	0,00

Total thickness to the top of the subgrade = 911,3 mm

Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. tonnes	Annual Departures	% Annual Growth
1	B737-300	63,503	100	0,00
2	B737-800	79,243	100	0,00
3	Falcon-900	22,000	470	0,00
4	Gulfstream-G-IV	34,019	300	0,00
5	Gulfstream-G-V	42,000	450	0,00
6	Learjet-55	10,000	310	0,00
7	BeechJet-400	5,000	260	0,00

Additional Airplane Information

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	B737-300	0,05	0,05	3,79
2	B737-800	0,95	0,95	3,52
3	Falcon-900	0,00	0,00	5,12
4	Gulfstream-G-IV	0,00	0,00	4,53
5	Gulfstream-G-V	0,00	0,00	4,23
6	Learjet-55	0,00	0,00	8,61
7	BeechJet-400	0,00	0,00	4,74

User is responsible for checking frost protection requirements.

grosseto2018 D-4-2-4 Des. Life = 20		
Layer Material	Thickness (mm)	Modulus or R (MPa)
PCC Surface	311,3	4,48
P-304 CTB	200,0	3.447,38
P-209 Cr Ag	400,0	201,52
Subgrade	k = 23,4	42,47
Total thickness to the top of the subgrade, t = 911,3 mm		

Allegato 2 – Calcolo della dimensione dei giunti

DIMENSIONI GIUNTI - LASTRONI 5X5

1 Joint movement

Total joint movement	=	Max length of element	+	Minimum length of element		
$\Delta L (L1+L2)$	=	$L1 (T0+Tmax)$	+	$L2 (T0-Tmin)$		
L1	=	$[E \times a \times (t1-t0)]$	=	2,25	23%	
L2	=	$[E \times a \times (t0-t2)]$	=	1,25	13%	
					->	$\Delta L (L1+L2) = 3,5 \text{ mm}$

Items			parameters to fill in
E	=	Length of element (mm)	5000
a	=	Expansion coefficient of element (mm/°C)	1,00E-05
t0	=	Application temperature (°C)	20
t1	=	Highest temperature (°C)	65
t2	=	Lowest Temperature (°C)	-5

2 Calculation joint size

B	=	$\frac{100,00\%}{k}$	X $\Delta L (L1+L2)$	->	B	=	14	mm
B	=	calculated joint width					15	mm
k	=	Maximum allowable deformation of the sealant						
		Elastic polysulfide sealant = 25 %						

3 Joint size

D	=	$\frac{B}{3}$	+ 6mm	->	11,0	BxD =	15	x	12,0 mm
---	---	---------------	-------	----	------	-------	----	---	---------

4 Joint deformation

Total Joint movement	$\Delta L (L1+L2)$	X 100%	=	3,5	X	100	23 %
Joint width	B			15			