



Università degli Studi di Cagliari

DOTTORATO DI RICERCA

INGEGNERIA STRUTTURALE

XXVII° CICLO

**A.P.M.S. – AIRPORT PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM –
SPECIFICAMENTE CONTESTUALIZZATO IN AEROPORTI A
TRAFFICO STAGIONALE**

Settore scientifico disciplinare di afferenza

ICAR/04

Presentata da: _____ *Franco Pigozzi*

Coordinatore Dottorato: _____ *Prof. Ing. Francesco Ragnedda*

Tutor: _____ *Prof. Ing. Mauro Coni*

Esame finale anno accademico 2013 – 2014

A Nicoletta

Ringraziamenti

Il mio primo ringraziamento va a Nicoletta, presenza costante durante gli anni di corso, supporto inestimabile con suggerimenti e sostegno anche durante i momenti di difficoltà.

Un ringraziamento particolare va al tutor del dottorato, Prof. Mauro Coni, il quale ha messo a disposizione la propria capacità trasmettendomi entusiasmo e consentendomi di ampliare la potenzialità del lavoro svolto, credendo sempre in me.

Non da meno sento di ringraziare l'Ing. Silvia Portas, la quale ha costantemente partecipato allo sviluppo della ricerca con pazienza, dedizione encomiabile e giusta critica, ascoltando e seguendo i progressi del lavoro con suggerimenti, consigli, spunti innovativi e indicazioni sempre preziose.

Ringrazio l'Ing. Francesca Maltinti, che ha contribuito con la sua professionalità ed esperienza nel settore, e James, collega in questo percorso di studi e soprattutto amico fin dalle battute iniziali, per il supporto, l'aiuto e i preziosi suggerimenti.

Ringrazio la mia famiglia, costante sostegno morale, e la GEASAR Infrastrutture, che ha reso possibile lo svolgimento del dottorato, investendo risorse e mettendo a disposizione personale e mezzi, contribuendo decisamente alla crescita professionale.

SOMMARIO

INDICE DELLE IMMAGINI	7
ABSTRACT	9
1. Introduzione	10
2. Obiettivi	13
3. Metodologia	15
4.1. Il trasporto aereo	16
4.2. Applicazione di APMS nel mondo	18
4.3. Struttura di un APMS	20
4.4. Predisposizione dell’Airport Pavement Management System	24
4.5. Benefici ottenibili con l’implementazione di un APMS	26
4.6. Peculiarità di un APMS per aeroporti a forte stagionalità	27
5. La realizzazione del database	29
5.1. Suddivisione delle sovrastrutture	29
5.2. Utilizzo del GIS – Sistema informativo computerizzato	31
6. Analisi dei dati	33
6.1. Analisi degli indicatori sullo stato prestazionale e strutturale	33
6.1.1. La regolarità longitudinale e trasversale	35
6.1.2. Irregolarità concentrate “Single Event Bump”	36
6.1.3. Irregolarità distribuite “Profile Roughness”	38
6.2. Microtessitura e macrotessitura	38
6.2.1. Le caratteristiche di microtessitura	41
6.2.2. La macro-tessitura.	44
6.2.2.1. Fattori che influiscono sulla macro-tessitura.	45
6.2.3. Indicatori della condizione strutturale	45
6.2.3.1. Il metodo ACN/PCN	49
6.2.4. La condizione superficiale – PCI	54
6.3. Modelli di decadimento	56
6.4. Catalogo dissesti	58
6.5. Tecniche di ripristino	58
6.6.1. Priorizzazione	59
6.6.2. Ottimizzazione	59
7. Caso studio: l’Aeroporto “Costa Smeralda” di Olbia	61
7.1. L’Aeroporto “Costa Smeralda” di Olbia.	61
7.2. Acquisizione e valutazione dati di traffico.	64
7.2.1. Analisi della distribuzione mensile del traffico.	65

7.3. Analisi climatica	68
7.4. Problematiche emerse	72
7.5. Peculiarità delle sovrastrutture aeroportuali	74
8. Rilevamento e conservazione dati	75
9. Modello d’implementazione proposto	82
9.1. Finalità	82
9.2. Attività di monitoraggio	84
9.3. Catalogo dei dissesti	85
9.4. Comportamento della sovrastruttura in diverse condizioni climatiche	87
9.4.1. Andamento del coefficiente di aderenza	87
9.4.2. Influenza stagionale sulla capacità portante	88
9.5. Prescrizioni operative su tecniche d’intervento e materiali da utilizzare.	89
9.6. Prescrizioni operative per interventi manutentivi sulla base delle condizioni climatiche	91
9.6.1. Realizzazione di strati in conglomerato bituminoso a caldo	93
9.6.2. Realizzazione di strati e/o lastre in calcestruzzo	94
9.7. Modello di decadimento	96
9.8. Definizione livello gerarchico e concetto di “Priority level”	97
9.8.1. Efficacia del metodo proposto	107
10. Conclusioni	111
Bibliografia	116
<i>APPENDICE 1 – Caratteristiche Aeroporto Olbia “Costa Smeralda”</i>	<i>a</i>
<i>APPENDICE 2 – Catalogo dissesti</i>	<i>i</i>
<i>APPENDICE 3 – Catalogo tecniche di intervento</i>	<i>I</i>

INDICE DELLE IMMAGINI

Immagine 1 – Network connessioni aeree	16
Immagine 2 – Statistiche traffico di passeggeri 2014 [5]	17
Immagine 3 – Tendenza del numero medio di passeggeri per aereo 2004-2013 [5]	17
Immagine 4 – Diffusione aeroporti nel mondo	18
Immagine 5 - Schematizzazione PMS anni 60-70 [7].	19
Immagine 6 – Interrelazione tra componenti di un APMS	21
• Immagine 7 – Suddivisione finalità dei diversi livelli di un APMS [11]	22
Immagine 8 – Coordinamento fasi attuative di un APMS [12]	24
Immagine 9 - Componenti chiave di un Airport Pavement Management System [12]	25
Immagine 10 - Schema sintetico Pavement Management System [15]	25
Immagine 11 - Network di connessioni di un aeroporto stagionale	28
Immagine 12 – Segmentazione strutture di volo	31
Immagine 13 – Differenti livelli di tessitura della pavimentazione	35
Immagine 14 - Schematizzazione del Bump-Height [20]	36
Immagine 15 - Criteri di accettazione del Boeing Bump [20]	37
Immagine 16 – Criteri di accettazione del BBI- Boeing Bump Index [20]	37
Immagine 17 – Interazione tessitura piano viabile-pneumatico [21]	39
Immagine 18 – Contributo delle componenti di micro- e macro-tessitura in funzione della velocità	39
Immagine 19 - Classificazione delle caratteristiche superficiali e relativa influenza sul moto	40
Immagine 20 – Statistica incidenti aerei 1959-2011 [25]	40
Immagine 21 – Variazione di aderenza in funzione di eventi atmosferici [31]	43
Immagine 22 – Tecniche per il monitoraggio strutturale	46
Immagine 23 – Heavy Falling Weight Deflectometer	46
Immagine 24 – Schema di back-calculation	47
Immagine 25 – Relazione bacino di deflessione – strati della pavimentazione	48
Immagine 26 – Componenti di determinazione del PCI	54
Immagine 27 – Scala di riferimento indice PCI	56
Immagine 28 - Esempio costi manutentivi in funzione del decadimento della pavimentazione	56
Immagine 29 – Indicazione del differente decadimento in funzione di spessore, traffico e sottofondo	57
Immagine 30 – <i>Aerodrome Chart ICAO</i> Aeroporto Olbia “Costa Smeralda” (2013)	61
Immagine 31 – Indicazione delle tipologie costruttive suddivise per settori	62
Immagine 32 – Layout settori	63

Immagine 33 – Ripartizione traffico secondo classi ICAO _____	65
Immagine 34 – Istogramma di andamento mensile dei movimenti _____	67
Immagine 35 – Confronto andamento stagionale del traffico _____	67
Immagine 36 - Andamento medie giornaliere (fonte weatherspark.com) _____	69
Immagine 37 – Statistica mensile delle temperature _____	70
Immagine 38 - Precipitazioni medie mensili (fonte Distretto Idrografico Sardegna) _____	70
Immagine 39 - Probabilità e tipologia di precipitazioni nell’arco di una giornata (fonte weatherspark.com) _____	71
Immagine 40 - Distribuzione statistica venti _____	71
Immagine 41 - Velocità del vento (min, med, max) giornaliera (fonte weatherspark.com) _____	72
Immagine 42 – Rilevamento dissesti ultimi 5 anni _____	73
Immagine 43 – Trend peso medio aeromobile dello scalo in esame _____	73
Immagine 44 - Schema di esecuzione delle prove deflettometriche nei diversi livelli di analisi _____	79
Immagine 45 – Relazione attività ispettiva – traffico _____	83
Immagine 46 – Attività ispettiva di dettaglio proposta _____	85
Immagine 47 – Trend coefficiente di aderenza Aeroporto Olbia “Costa Smeralda” _____	88
Immagine 48 – Confronto condizioni climatiche - movimenti _____	92
Immagine 49 - Organizzazione ottimale di PMS per aeroporti ad alta stagionalità _____	93
Immagine 50 - Requisiti di accettazione per la stesa di conglomerato bituminoso caldo _____	94
Immagine 51 – Sviluppo curva di decadimento “straight line” _____	97
Immagine 52 – <i>Color map</i> sezioni omogenee sulla base del PCI _____	100
Immagine 53 - <i>Color map</i> sezioni omogenee sulla base del flusso di traffico in partenza _____	101
Immagine 54 - <i>Color map</i> sezioni omogenee sulla base della destinazione d’uso _____	102
Immagine 55 - <i>Color map</i> sezioni omogenee sulla base del codice ICAO consentito _____	103
Immagine 56 - <i>Color map</i> sezioni omogenee in funzione della frequenza di utilizzo _____	104
Immagine 57 – Confronto dell’efficacia <i>Cost-Effectiveness</i> tra metodo proposto e metodo PCI _____	109
Immagine 58 – Simulazione PCI anni 2015-2018 secondo il budget assegnato _____	109
Immagine 59 – Grafico comparativo E/C anni 2015-2018 con budget assegnato _____	110
Immagine 60 – Confronto aree interessate con i due metodi utilizzati per la comparazione _____	110

ABSTRACT

The Pavement Management System is a useful tool for operators and managers providing a systematic and objective method for pavement condition evaluation, maintenance planning decisions and budget allocation. Also for Airports, it represents a support to improve the decision-making process allowing the prediction of the pavements' condition in future years depending on the evolution of the traffic and allowing a feedback of past applications. The high seasonality airports peculiarity is that there are ten times and over more movements in the peak season. This aspect consist in a severe time reduction due to the strong increase of traffic in the peak season with only strictly necessary and no longer be postponed maintenance actions allowed, then bringing up the question of construction techniques and material selection, maintenance planning and monitoring techniques. In this research this aspects were analyzed and some applications aimed to solve the issues encountered are proposed. The work also focused the attention on the pavement condition evaluation, especially at Network Level, with operators faced with low budget availability and looking for easy and rapid management and comparison of available data. An application of the developed framework was conducted on a Sardinian airport with the peak of traffic in the summer season, from June to September.

1. Introduzione

La gestione ottimale e la manutenzione delle sovrastrutture destinate alla circolazione degli aeromobili costituisce un obiettivo fondamentale per i gestori aeroportuali in quanto la stessa richiede l'utilizzo di ingenti risorse finanziarie dirette ad assicurare un elevato livello prestazionale tale da garantire la piena operatività aeroportuale sotto le diverse condizioni ambientali.

L'obiettivo può essere raggiunto attraverso un'azione coordinata che preveda il monitoraggio continuo e oggettivo per conoscere stato di condizione della pavimentazione, la valutazione puntuale del decadimento della sovrastruttura, la selezione di tecniche d'intervento adeguate la gestione degli scenari futuri.

Con l'attuazione di un programma di manutenzione il gestore rispetta anche la normativa in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture, attraverso la redazione del piano di manutenzione così come previsto dal DPR 207/2010 – “Regolamento di esecuzione e attuazione del D.Lgs. 163/2006” . Con riferimento ad una scala di riferimento maggiore, il CNR, nel BU 125/88 definisce la manutenzione delle sovrastrutture l'insieme di “operazioni ed attività che ha lo scopo di conservare le caratteristiche funzionali e strutturali delle pavimentazioni nell'arco del periodo di vita utile dell'infrastruttura viaria”. Negli stessi termini la norma UNI 9910 definisce la manutenzione la “combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare una entità in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta” [1].

In ambito strettamente aeroportuale, la normativa emanata dall'ICAO attraverso il documento “ANNEX 14 to the Convention on International Civil Aviation” – Volume I – Aerodrome Design and Operations” impone l'adozione di un programma di manutenzione in grado di mantenere le sovrastrutture di volo in condizioni di sicurezza, funzionalità ed efficienza [2]. La stessa ICAO, all'interno del “Doc 9137 – Airport Services Manual – Part 9 Airport Maintenance Practices” richiede l'adozione di una continua attività di monitoraggio e la realizzazione di interventi di manutenzione qualora necessario [3]. Inoltre, a partire dal 2014 è necessario fare riferimento alle cosiddette “*soft law*”, “Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design - CS-ADR.DSN” e “Aerodromes Acceptable Means of Compliance and Guidance Material” pubblicate dall'EASA – European Aviation Safety Agency, le quali, costituiranno base per la certificazione del gestore aeroportuale.

In ambito nazionale, l'ENAC ha avviato l'iter di approvazione di una circolare applicativa che prevede l'implementazione di un sistema di gestione delle sovrastrutture all'interno delle funzioni di

un gestore aeroportuale che di fatto andrà ad integrare il manuale dell'aeroporto nonché costituirà elemento vincolante per il rilascio della certificazione del gestore aeroportuale.

L'aspetto funzionale delle sovrastrutture rappresenta un componente basilare nell'ambito della certificazione aeroportuale rilasciata dall'ENAC – Ente Nazionale per l'Aviazione Civile. Il documento viene rilasciato al gestore aeroportuale, assegnandogli la responsabilità della conduzione e dell'operatività dell'infrastruttura, attestandone la conformità ai requisiti imposto dal regolamento anche nell'ambito delle caratteristiche fisiche dell'aeroporto. Le procedure da adottare nelle diverse attività di gestione, siano esse in condizioni di assetto ordinario o in condizioni di emergenza, sono comprese all'interno del Manuale dell'Aeroporto. Il manuale riporta anche le procedure applicative riguardanti l'attività di monitoraggio periodico e di manutenzione preventiva finalizzata al mantenimento in efficienza della sovrastruttura.

Il livello prestazionale di una sovrastruttura assume quindi sempre maggiore importanza e diventa fondamentale prevedere e contenere entro specifici limiti il naturale decadimento della stessa durante la sua fase di esercizio; questo scopo può essere raggiunto attraverso l'implementazione di uno strutturato programma di manutenzione in grado di individuare gli appropriati interventi di riqualifica, laddove necessari, nel momento esatto e il relativo impegno economico. L'attività di monitoraggio consente inoltre di stimare la ripartizione, spesso su base annua, delle risorse finanziarie necessarie per il mantenimento o il conseguimento di un determinato livello di efficienza.

L'aspetto gestionale e programmatico deve, nel medio e lungo termine, tenere in considerazione la natura dello specifico scalo analizzato e, pertanto, acquisire e analizzare informazioni quali l'evoluzione del traffico aereo dello scalo sia sotto il punto di vista quantitativo, ovvero attraverso il monitoraggio del numero di movimenti annui, sia sotto il punto di vista qualitativo, ovvero valutando la tipologia di aeromobili che impegnano la sovrastruttura e la relativa influenza sulla pavimentazione; questi fattori, infatti, possono influenzare significativamente la capacità portante della sovrastruttura e, di conseguenza, la vita utile della stessa. Altri fattori possono concorrere a caratterizzare un determinato scalo come, p.es., quelli climatici oppure geometrici. Queste considerazioni indicano la necessità di adottare delle linee programmatiche generali uniformi che comunque consentano l'adozione di opportuni accorgimenti in relazione allo specifico caso in esame.

Lo strumento operativo finalizzato alla gestione delle sovrastrutture aeroportuali, riconosciuto e oramai ampiamente utilizzato in ambito internazionale, è l'APMS – Airport Pavement Management System, il quale rappresenta un supporto operativo all'attività ispettiva e di programmazione finalizzata all'ottimizzazione delle risorse economiche assicurando un determinato livello prestazionale della sovrastruttura [4].

La definizione elementare dell'APMS indica lo stesso come un *“processo che fornisce procedure sistematiche e oggettive per: il mantenimento dell’inventario delle pavimentazioni, il monitoraggio delle prestazioni della pavimentazione, la selezione dell’intervento più appropriato e nel momento opportuno per una determinata pavimentazione, la pianificazione e la previsione di spesa per le attività di manutenzione e la valutazione dell’efficacia in termini economici delle attività svolte in passato”*.

2. Obiettivi

L'Airport Pavement Management System ha, per sua natura, come obiettivo principale quello di fornire supporto agli operatori nell'ambito della gestione e della manutenzione delle sovrastrutture destinate al transito di veicoli o di aeromobili e quindi, rispettivamente, strade e aeroporti. Nel presente lavoro l'attenzione è stata incentrata sull'analisi delle problematiche che emergono nella fase di realizzazione di un sistema di gestione e delle soluzioni ritenute opportune per la risoluzione. In particolare, nel presente studio, l'attenzione è stata incentrata sulle criticità emerse dall'analisi di aeroporti caratterizzati da una forte stagionalità. Di fatto questo tipo di aeroporti sono spesso caratterizzati da una distribuzione fortemente non omogenea del traffico mensile il che comporta difficoltà operative per la messa in atto del programma manutentivo nel periodo di picco di traffico aereo, mentre consente un'attuazione più agevole durante il periodo con traffico ridotto comportando limitate interferenze all'operatività aeroportuale. Oltre alle difficoltà operative sono da tenere in considerazione anche problematiche di contorno quali banca dati con scarsa quantità di informazioni e limitate risorse finanziarie.

La struttura di un PMS è articolata in diverse fasi operative che, a seconda dello specifico caso in analisi, possono essere strutturate in modo più o meno dettagliato. Dal punto di vista operativo l'obiettivo è stato quello di:

- Individuare un metodo di raccolta dati per la realizzazione di una banca dati consentendone un aggiornamento dinamico e che, se necessario, possa essere utilizzato per l'implementazione su software commerciale;
- Individuare gli indicatori di stato che in base ai dati storici disponibili e alla tipologia di sovrastruttura in esame, possano assicurare un certa affidabilità;
- Assumere dei modelli previsionali di decadimento dei singoli indicatori;
- Fornire indicazioni circa le tecniche d'intervento da porre in atto per interventi di ripristino localizzati urgenti e di manutenzione ordinaria e straordinaria, atti a garantire il livello prestazionale prefissato;
- Proporre un catalogo dei dissesti e i rispettivi interventi di manutenzione tale da poter costituire guida per gli addetti operanti sul campo nonché capitolato prestazionale o prescritzionale nei rapporti con operatori terzi;

- Definire una maglia di sezioni omogenee sulla base di dati quali condizione superficiale, regolarità, tipologia costruttiva, data di realizzazione, etc.
- Istituire una tecnica di prioritizzazione che assegni un “peso” ad ogni singola sezione omogenea individuata secondo i parametri discriminatori selezionati;
- Validare la metodologia proposta attraverso l’analisi comparativa tra l’applicazione del metodo della prioritizzazione e la semi-ottimizzazione proposta.

Nel presente lavoro l’obiettivo è quello di individuare e analizzare le peculiarità, le criticità e i fattori che possono condizionare la realizzazione di un sistema di gestione della sovrastruttura qualora si debba procedere all’implementazione di un APMS per aeroporti caratterizzati da forte stagionalità.

La stagionalità di uno scalo si ripercuote sull’attività manutentiva in maniera non trascurabile, limitando al periodo “freddo” la possibilità di porre in atto la realizzazione di interventi in larga scala e, allo stesso tempo, inducendo gli addetti all’adozione di tecniche d’intervento manutentivo di tipo rapido e urgente tali da consentire la piena operatività durante il periodo di picco.

3. Metodologia

L'APMS è articolato secondo una struttura logica ben definita che nella fase di implementazione necessita comunque di un'analisi approfondita dello specifico caso in esame in quanto sono diversi i parametri che possono incidere sul lavoro finale. Oltre a specificità strettamente connesse a fattori peculiari di una determinata infrastruttura sono da tenere in considerazione altri fattori di tipo generale caratterizzanti determinate categorie di aeroporti, quali il numero di piste, lo schema organizzativo delle vie di circolazione, il volume di traffico, le condizioni climatiche, l'inserimento nel contesto paesaggistico e il volume di traffico.

Per poter effettuare uno studio quanto più dettagliato e rispondente alla realtà operativa è stato individuato un aeroporto avente le caratteristiche ricercate, ovvero l'Aeroporto "Costa Smeralda" di Olbia. Di fatto la stagionalità comporta un utilizzo con andamento oscillatorio durante l'anno con il picco di traffico nel periodo estivo e bassi volumi nel periodo invernale.

La metodologia seguita è stata quella di individuare una tecnica che, partendo da una semplice prioritizzazione basata sull'utilizzo del solo indice PCI – Pavement Condition Index, consenta di modificare la priorità sulla base di altri parametri che sono stati individuati durante lo sviluppo e ritenuti vincolanti per una infrastruttura con le citate caratteristiche.

Attraverso l'assegnazione di un "peso" a seconda delle caratteristiche una data sezione omogenea, l'obiettivo è quello di ottenere un nuovo elenco di priorità che possa consentire un'allocazione ottimale delle risorse garantendo un determinato livello prestazionale a determinate aree di circolazione.

4. L'APMS – Airport Pavement Management System

4.1. Il trasporto aereo

Oggi giorno il traffico aereo rappresenta un settore in continua crescita nonostante sia in corso un periodo forte contrazione economica. Secondo i dati resi disponibili dall'ICAO, nel solo 2014 sono stati trasportati circa 3200 Milioni di passeggeri, con un incremento di circa il 5% rispetto al 2013, con oltre 66 Milioni di movimenti. Le attuali previsioni stimano una crescita continua con circa 6400 Milioni di passeggeri trasportati nel 2030 [5].

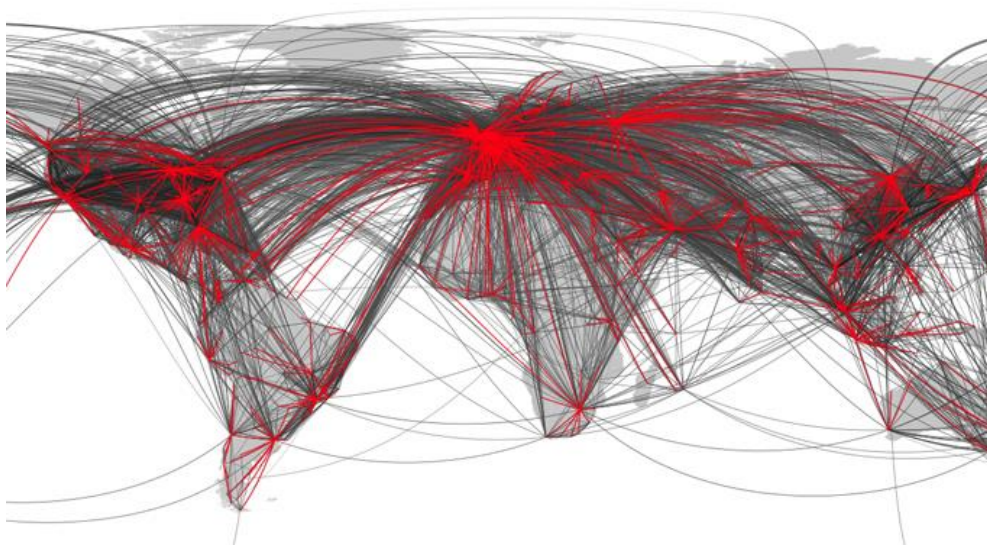


Immagine 1 – Network connessioni aeree

L'area geografica a maggior traffico è quella dell'Asia/Pacifico con circa il 31% in termini di RPKs – Revenue Passenger per Kilometres. L'area Europa e Nord America occupano le posizioni immediatamente successive con, rispettivamente, 27% e 25% dei traffico RPKs, mentre la crescita maggiore si registra nell'area del Medio Oriente con il 12,8% di incremento rispetto al 2013. A livello europeo si tratta di una crescita pressoché costante a partire dal 2009 [6].

Regional Passenger Traffic and Capacity Growth
Market share and load factors - 2014*

Region of State's AOC Holders	RPKs						ASKs	LFs
	International		Domestic		Total		Total	Total
	Traffic Growth	Market Share	Traffic Growth	Market Share	Traffic Growth	Market Share	Capacity Growth	Load Factors
Africa	1.7%	3%	0.6%	1%	1.5%	2%	2.1%	68.3%
Asia and Pacific	5.8%	27%	7.9%	38%	6.7%	31%	7.2%	77.4%
Europe	5.7%	38%	5.8%	9%	5.7%	27%	5.2%	80.4%
Latin America and the Caribbean	6.2%	4%	5.6%	7%	5.9%	5%	5.3%	77.8%
Middle East	13.4%	14%	3.6%	1%	12.8%	9%	12.5%	77.7%
North America	3.1%	14%	2.9%	44%	3.0%	25%	2.6%	83.5%
World	6.3%	100%	5.1%	100%	5.9%	100%	5.7%	79.5%

* Preliminary figures covering scheduled commercial services only. Statistics applicable to traffic by region of airline domicile.

RPKs: Revenue Passenger Kilometres ASKs: Available Seat Kilometres LFs: Passenger Load Factors

Immagine 2 – Statistiche traffico di passeggeri 2014 [5]

La crescita di traffico aereo comporta anche la realizzazione di nuove infrastrutture aeroportuali e l'ampliamento o adeguamento di quelle esistenti. Tali infrastrutture hanno il compito di soddisfare un volume di traffico sempre crescente ma anche la capacità di ospitare aeromobili di dimensioni sempre crescenti. Assieme alla domanda dei passeggeri, aumenta il volume di traffico degli scali strategici e la massimizzazione dell'offerta da parte delle compagnie aeree.

Questo porta ad un incremento del peso medio degli aeromobili e conseguenti maggiori sollecitazioni sulla pavimentazione e, quindi, elevati requisiti prestazionali e maggiori dimensioni delle sovrastrutture.

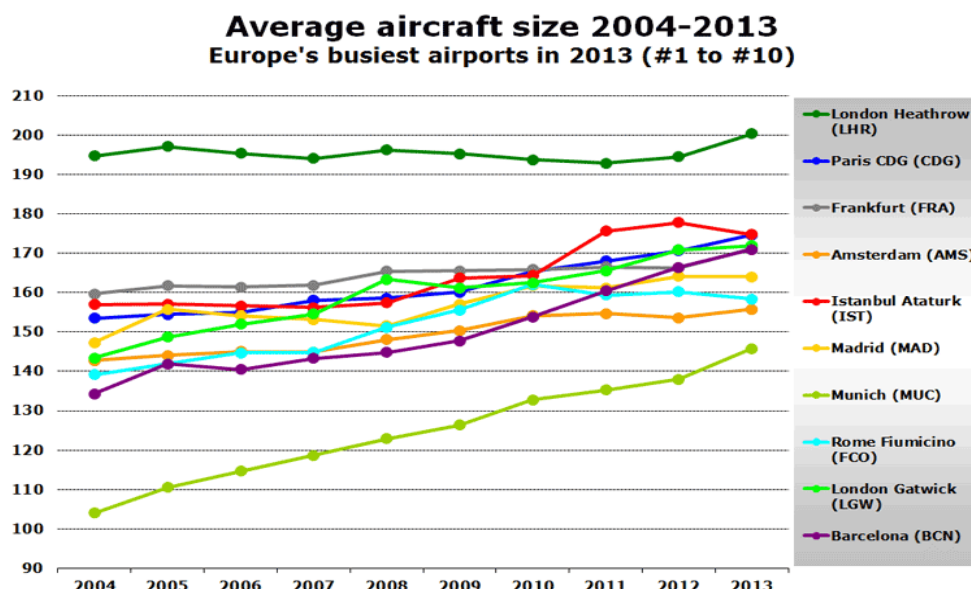


Immagine 3 – Tendenza del numero medio di passeggeri per aereo 2004-2013 [5]

Il traffico di aeromobili comporta inevitabilmente un utilizzo della pavimentazione che, per evitare limitazioni all'operatività di un aeroporto e costi ingenti alle società di gestione, è necessario gestire

secondo una politica ben definita in grado di indicare il decadimento della sovrastruttura, l'evoluzione attesa del traffico, costi e scenari di budget risultanti da analisi benefici-costi.

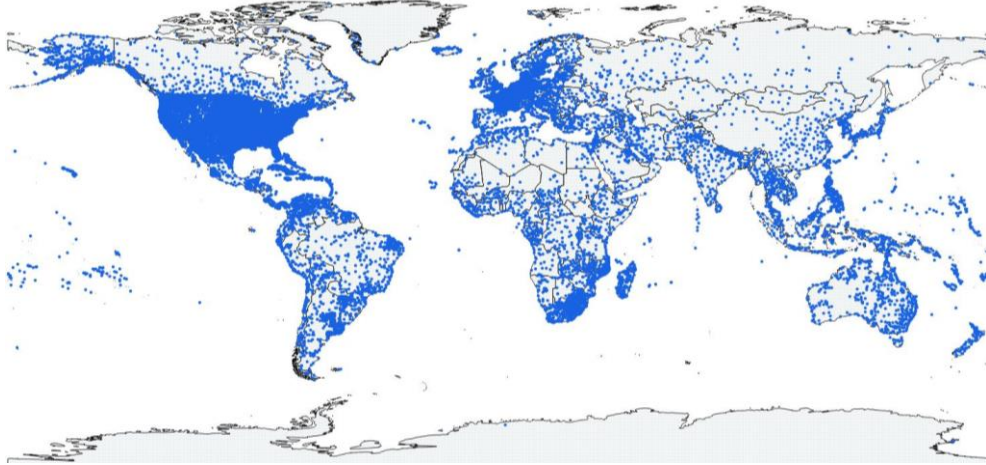


Immagine 4 – Diffusione aeroporti nel mondo

4.2. Applicazione di APMS nel mondo

I primi concetti di pavement management furono introdotti nei primi anni '60 negli Stati Uniti nel tentativo di stabilire le cause di preventivo e inatteso decadimento prematuro delle sovrastrutture stradali. Una ricerca condotta mise in evidenza l'impossibilità di stabilire un comportamento della sovrastruttura univoco a causa delle numerose variabili locali che possono influire sullo studio.

La progettazione a monte di una nuova costruzione infatti pone come ipotesi iniziali previsioni climatiche, di traffico e di comportamento dei materiali che dovrebbero trovare conferma al termine della vita utile di progetto, usualmente stimata in 20-30 anni. Tuttavia questi dati sono spesso destinati ad essere modificati durante gli anni di servizio.

Devono essere inoltre considerati anche altri fattori che possono influire durante gli anni, quali interventi di manutenzione e riabilitazione [7]. Da queste indicazioni nacque l'esigenza di strutturare un metodo di acquisizione dati sistematico, oggettivo e a frequenza prestabilita per così poter realizzare modelli previsionali affidabili, programmare interventi manutentivi e associare i relativi costi con maggiore affidabilità.

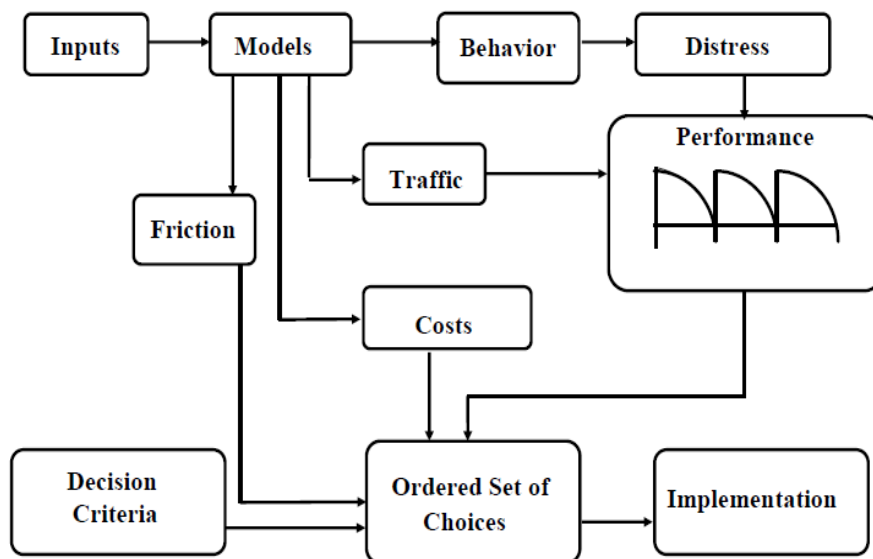


Immagine 5 - Schematizzazione PMS anni 60-70 [7].

Inizialmente l'applicazione della metodologia venne applicata al solo livello di progetto, permettendo comunque di migliorare l'approccio alle fasi di progettazione, costruzione e manutenzione [8]. Parallelamente agli Stati Uniti anche in Canada individuate le necessità e le potenzialità derivanti dal *pavement management*. Nei decenni successivi, soprattutto a partire dalla seconda metà degli anni '80, l'applicazione del PMS avvenne prima in paesi dell'America meridionale, Australia, Nuova Zelanda, Europa e successivamente in Cina e altri stati asiatici grazie alle nozioni acquisite dagli studiosi durante le attività svolte negli Stati Uniti [7].

Il quantitativo di dati sempre maggiore da conservare e la rapidità di analisi richiesta dagli operatori ha spinto amministrazioni statali e società specializzate nel settore allo sviluppo di software, sia ad uso interno sia di tipo commerciale, in grado di rispondere alle sempre maggiori richieste. Oggi sono disponibili numerosi software anche con la possibilità di integrazione con software GIS. Allo stesso tempo la FAA ha sviluppato PAVEAIR, un software *web based* e gratuito di Airport Pavement Management System, reso disponibile dal 2011. Successivamente, nel 2012, è stato introdotto PAVEAIR 2.0 con la possibilità di condurre anche analisi di LCCA – Life Cycle Cost Analysis [9].

Il ricorso all'utilizzo di un Airport Pavement Management System in ambito nazionale è avvenuto con un certo ritardo rispetto a USA e Canada, i quali già dagli anni '70, in ambito stradale prima e in ambito aeroportuale successivamente, utilizzano un sistema di gestione della pavimentazione. Anche in Italia le prime applicazioni sono state effettuate in ambito stradale per poi essere diffuse anche al settore aeroportuale infatti, attualmente, sono numerosi gli aeroporti che sono dotati di un APMS o che almeno si trovano nella fase di implementazione dello stesso.

Sotto l'aspetto legislativo non esiste una normativa specifica in materia se non quella che, in termini generali, richiama al monitoraggio e alla manutenzione ordinaria e straordinaria da parte del gestore, quali il D.Lgs. 163/2006 e relativo regolamento applicativo, il Regolamento per la Costruzione e l'Esercizio degli Aeroporti - R.C.E.A. e le circolari applicative pubblicate dall'ENAC. Nello sviluppo degli APMS pertanto costituiscono riferimento le normative internazionali emanate dall'ICAO e le linee guida applicative emanate dalla FAA attraverso la pubblicazione delle Advisory Circulars.

Il mantenimento di determinati requisiti prestazionali dell'intera sovrastruttura e delle fasce di rispetto assume particolare rilevanza all'interno del sistema aeroportuale in quanto, gli stessi, costituiscono parte integrante della verifica eseguita da parte dell'Ente di controllo ai fini della certificazione della Società di gestione.

L'ENAC, in quanto autorità competente, ha avviato di recente un iter tecnico-amministrativo per l'approvazione e l'emanazione di una circolare applicativa attraverso la nomina un gruppo di lavoro composto da operatori aeroportuali, esperti del settore e Università, con lo scopo di definire le linee guida per l'implementazione di un APMS. L'obiettivo principale del documento è indicare gli elementi costituenti e i requisiti essenziali che devono essere contenuti nel sistema di gestione, anche in previsione dell'integrazione dello stesso all'interno del manuale dell'aeroporto, delineandone gli aspetti organizzativi, attraverso il riconoscimento delle figure professionali interessate, e strumentali, fornendo istruzione di base per la formazione di una banca dati, l'analisi e lo sviluppo e la pianificazione pluriennale degli interventi manutentivi.

La gestione di un APMS è un processo che, più o meno a seconda della sovrastruttura interessata, determina la produzione e il trattamento di un ingente quantitativo di dati. Allo scopo sono reperibili sul mercato diversi software commerciali che costituiscono prezioso strumento di supporto per gli operatori. Attualmente sono diversi i progetti di ricerca mirati ad ottimizzare la fase di implementazione di un APMS; in particolare, l'attenzione è focalizzata sullo studio dei modelli previsionali relativi alle prestazioni della pavimentazione e quindi al monitoraggio degli indicatori di stato.

4.3. Struttura di un APMS

L'Airport Pavement Management System rappresenta uno strumento di supporto all'aspetto decisionale e alla pianificazione mirata alla gestione tecnicamente ed economicamente sostenibile per il mantenimento delle condizioni ottimali delle pavimentazioni aeroportuali in conformità alla normativa vigente in materia e per un arco determinato arco temporale. Grazie ad un'opportuna

definizione del livello gerarchico e ad una strategia del gestore ben definita, l'APMS consente di individuare le aree aventi priorità di intervento in maniera oggettiva e sistematica consentendo allo stesso tempo una rapida e opportuna programmazione dei lavori e allocazione del budget necessario.

Le prime indicazioni relative alla gestione delle pavimentazioni aeroportuali sono state pubblicate negli Stati Uniti attraverso la AC - *Advisory Circular N° 150/5380-6* (oggi 150/5380-6B) emanata dalla F.A.A. – Federal Aviation Organization – con il proposito di fornire linee guida e procedure da attuare per la manutenzione delle strutture di volo. Successivamente la stessa organizzazione ha fornito indicazioni relative alla struttura caratteristica di un A.P.M.S.; questo sistema si è quindi diffuso in numerosi aeroporti, soprattutto a carattere internazionale, contraddistinti da una consistente superficie pavimentata da gestire e con l'esigenza di ottimizzare la tipologia di intervento sia sotto il punto di vista tecnico sia sotto il punto di vista economico. La materia ha trovato subito applicazione anche in ambito stradale dove la filosofia della manutenzione preventiva assume sempre maggiore importanza.

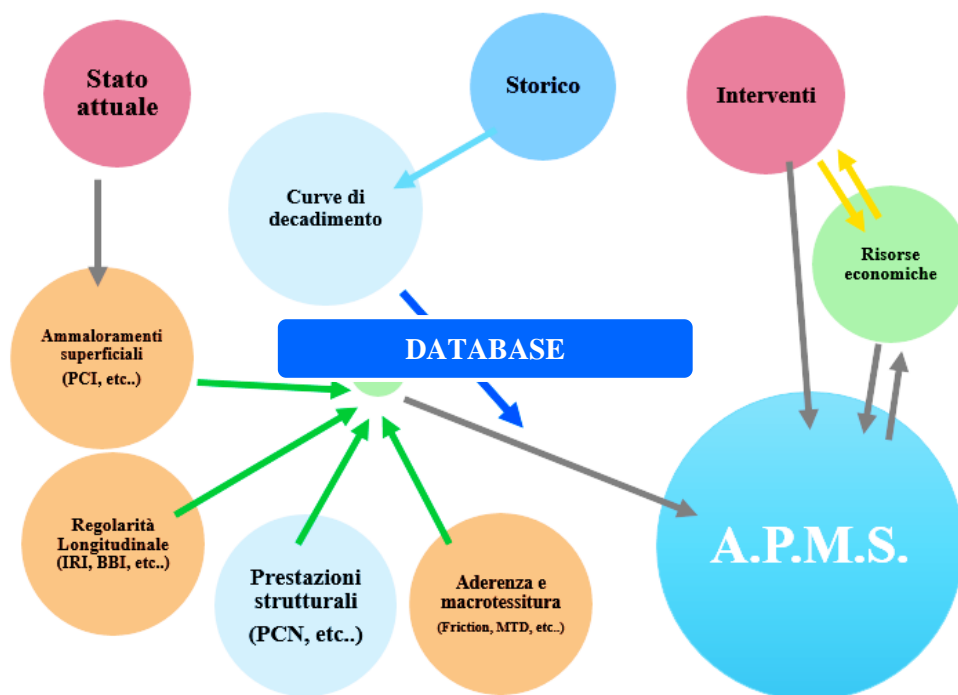


Immagine 6 – Interrelazione tra componenti di un APMS

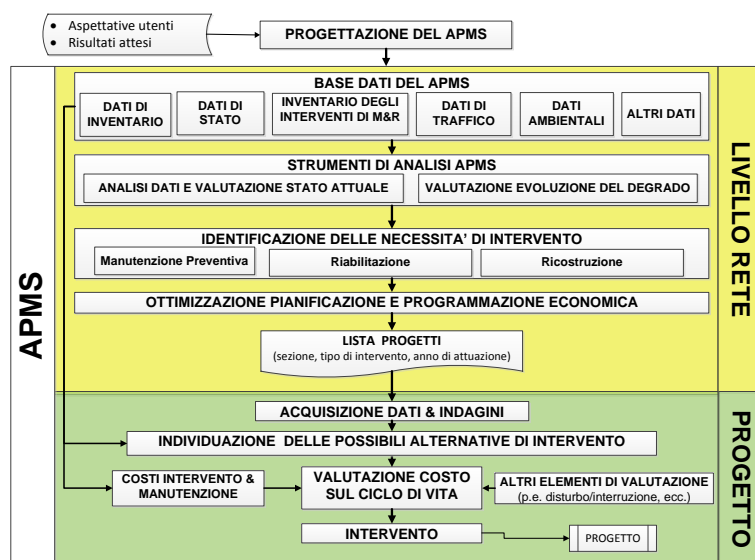
L'implementazione di un sistema di gestione quale l'APMS è organizzata secondo due diversi livelli: il livello di rete "*network level*" e il livello di progetto "*project level*".

- Il **livello di rete** prevede l'analisi dell'intero patrimonio infrastrutturale e ha come obiettivo principale quello di determinare lo stato attuale delle pavimentazioni e delle condizioni della

pavimentazione a breve e lungo termine così da fornire supporto per la individuazione dei settori per i quali sono necessari interventi di manutenzione di tipo preventivo oppure di tipo manutentivo.

Il livello di rete è quindi fondamentale di tipo strategico, ovvero indicato per la pianificazione del complesso degli interventi e la valutazione delle risorse economiche necessarie sulla base delle politiche di esercizio del gestore aeroportuale. Attraverso lo stesso è possibile definire:

- Valutare il livello prestazionale delle sovrastrutture;
 - Simulare il decadimento della pavimentazione nell’arco temporale preso in analisi;
 - Definire una scala gerarchica di interventi di manutenzione e/o riabilitazione da effettuare secondo tecniche di prioritizzazione o ottimizzazione.
- Il **livello di progetto** prevede l’analisi di una specifica sezione pavimentata, individuata preliminarmente attraverso un’indagine a livello di rete; a livello di progetto viene quindi valutato il tipo di intervento da mettere in atto sulla base dello stato conservativo, le specifiche dei materiali da utilizzare e il programma di monitoraggio da istituire per valutare l’efficacia delle soluzioni progettuali adottate. In questa fase è quindi possibile definire:
- Analisi costi-benefici in merito alla selezione di diversi interventi manutentivi;
 - Fornire specifiche tecniche per l’esecuzione a regola d’arte della specifica tipologia d’intervento individuato [10].



• Immagine 7 – Suddivisione finalità dei diversi livelli di un APMS [11]

I benefici conseguibili dall'utilizzo di un AMPS sono diversi e possono essere riassunti in:

- a. **Database informatizzato** in grado di raccogliere e conservare in un unico centro di raccolta, dati relativi alla costruzione e alla condizione delle infrastrutture comprese all'interno della rete;
- b. **Monitoraggio** della condizione delle pavimentazioni attraverso un sistema di rilevamento a frequenza prestabilita, sistematico, e obiettivo. Grazie ad una continua sorveglianza è possibile identificare con maggiore affidabilità le tecniche d'intervento e destinare le risorse economiche necessarie allo scopo;
- c. Definizione dei **modelli previsionali** di decadimento, in grado di indicare come evolverà nel tempo il livello prestazionale della sovrastruttura e quando dev'essere ritenuto opportuno intervenire. Grazie all'uso di modelli previsionali affidabili è possibile anche effettuare un'attenta analisi benefici-costi riguardo alle soluzioni prese in considerazione;
- d. **Pianificazione** interventi e relativa stima economica, ottimizzando le risorse a disposizione, oppure suggerendo il budget necessario per assicurare un determinato livello prestazionale negli anni;
- e. Facilitare l'identificazione chiara e immediata per la richiesta delle **risorse finanziarie**, soprattutto nel caso di richieste di finanziamento o richieste al *management* aziendale;
- f. **Flessibilità** d'uso e intercambiabilità degli operatori [12].

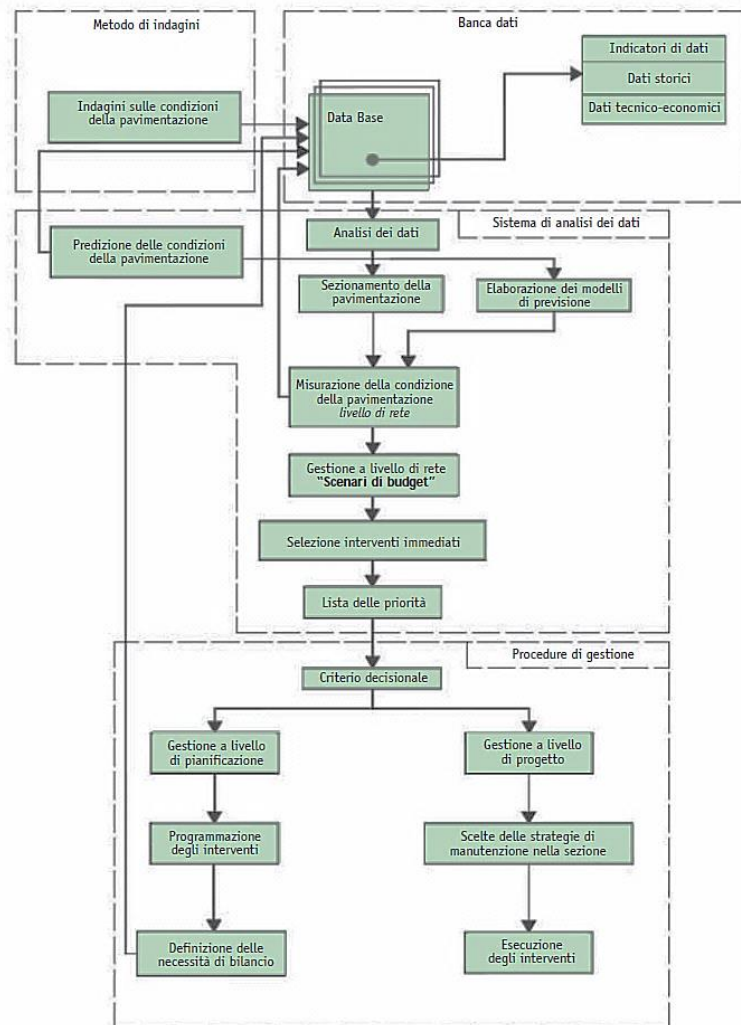


Immagine 8 – Coordinamento fasi attuative di un APMS [12]

4.4. Predisposizione dell'Airport Pavement Management System

La fase di implementazione di un APMS costituisce una fase particolarmente importante in quanto dalla stessa dipende l'efficacia delle operazioni ad esso legate. Si tratta sostanzialmente di due aspetti: uno tipo organizzativo (risorse umane, ruoli, responsabilità e competenze, risorse economiche), e uno di tipo tecnico (dati, strumenti e procedure di analisi) [13]. In questa fase le attività svolte sono:

- Definire la realizzazione di un APMS e stabilire l'allocazione di adeguate risorse finanziarie;
- Identificare gli sviluppatori, i potenziali utilizzatori e le informazioni di cui necessitano;
- Stabilire gli sviluppatori e i diversi livelli di accesso per la consultazione e/o modifica dei dati;
- Definire risorse economiche e umane;

- Valutare l’eventuale ricorso a software commerciali;
- Individuare la rete di sovrastrutture interessata, le relative sezioni e le condizioni;
- Definire peculiarità del patrimonio infrastrutturale da gestire e, quindi, individuare specifici indici di decadimento, strategie di M&R, costi stimati sulla base del mercato locale e definizione della gerarchie;
- Individuare modalità di analisi e rappresentazione dei dati ed eventuale integrazione con sistemi GIS;
- Prevedere la formazione del personale nella fase di avvio e il continuo aggiornamento delle competenze;
- Pianificare il rilevamento periodico della condizione superficiale e strutturale e le modalità di aggiornamento dati in seguito ad interventi manutentivi [12] [14].

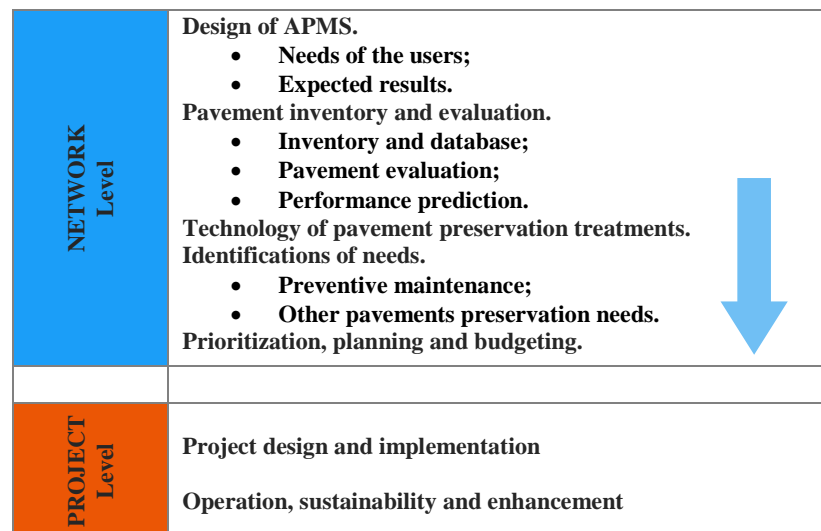


Immagine 9 - Componenti chiave di un Airport Pavement Management System [12]

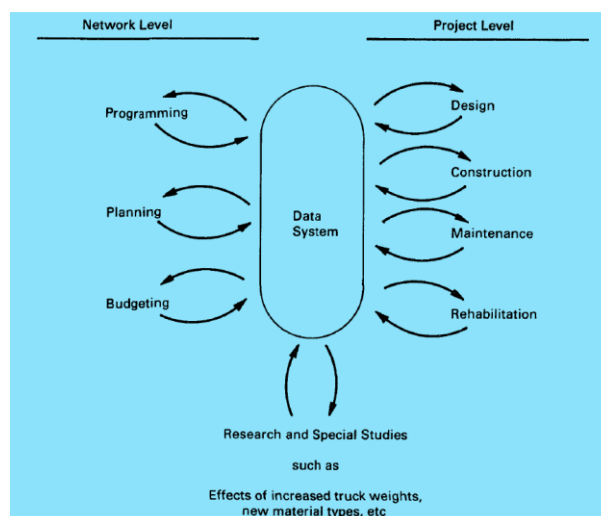


Immagine 10 - Schema sintetico Pavement Management System [15]

La gestione della pavimentazione si articola attraverso un sistema oggettivo di acquisizione dati e catalogazione della sovrastruttura, il monitoraggio delle sue prestazioni, la selezione dell'intervento ottimale manutenzione o riabilitazione nella giusta area da interessare e nei tempi più opportuni.

La realizzazione di un ben strutturato inventario della pavimentazione costituisce un passo iniziale di fondamentale importanza; questo, oltre alle condizioni attuali della sovrastruttura, riporta indicazioni sulle condizioni precedenti e su quelle future attese. La vita utile della pavimentazione e il suo livello prestazionale atteso negli anni avviene attraverso l'utilizzo di modelli previsionali che vengono distinti, in primo luogo, secondo la tecnica realizzativa utilizzata e, in seguito, a seconda della destinazione specifica della porzione pavimentata. Lo studio e la valutazione dei dati ottenuti da indagini relative allo scalo permettono poi la calibrazione del modello utilizzato. La valutazione dettagliata di una sovrastruttura non può essere effettuata solo attraverso l'uso di un indicatore di stato o di una tecnica di indagine; infatti una valutazione è tanto più accurata se sono utilizzate diverse tecniche quali, indicativamente: rilievo dissesti superficiali con il metodo PCI, valutazione regolarità con indice IRI, prove di aderenza e prove defletto metriche per la valutazione della portanza.

L'indice PCI – Pavement Condition Index è l'indice più utilizzato per la valutazione delle condizioni di una sovrastruttura; questo è in parte dovuto alla metodologia di indagine e al sistema di valutazione che rende oggettivo, e non soggettivo, il risultato che si ottiene.

Nell'ambito della strutturazione di un APMS la valutazione delle condizioni superficiali e strutturali sono molto importanti in quanto costituiscono un utile strumento per definire statistiche relative al degrado della pavimentazione e alle tecniche di manutenzione e riabilitazione meglio rispondenti alle prestazioni attese.

4.5. Benefici ottenibili con l'implementazione di un APMS

L'implementazione di un APMS per la gestione delle sovrastrutture aeroportuali, al pari di quelle stradali, richiede un'attenta valutazione dei costi e dei benefici che ne comporta, da affrontare preliminarmente. Il successo relativo all'applicazione di una sistema di gestione non è immediato e richiede una capacità gestionale in grado di valutare i diversi scenari possibili. Tale aspetto assume maggiore risalto per gli operatori che, di fatto, hanno sempre applicato una politica esclusivamente di tipo manutentivo dettata da valutazioni visive basate sull'esperienza acquisita nel tempo. In linea generale, nell'implementazione di un APMS, i benefici che si possono ottenere, e che debbono essere ricercati da parte dell'operatore nella fase di avvio, sono:

- Promuovere la costituzione di un unico “luogo” dove vengono accumulate informazioni quali condizioni della pavimentazione, dati sulla realizzazione e storico degli interventi di manutenzione e riabilitazione;
- Permettere di valutare, attraverso la simulazione di diversi scenari di budget, la condizione delle sovrastrutture nel medio-lungo termine;
- Migliorare la programmazione degli interventi manutentivi, in particolare costituendo supporto per la selezione della tipologia d’intervento da eseguire;
- Opzioni “Trade-Off” e “What if”;
- Valutare l’efficacia degli interventi eseguiti in passato (feedback);
- Indicare all’operatore quale politica economica applicare;
- Consentire la definizione delle risorse economiche necessarie per raggiungere il livello prestazionale definito nella fase di implementazione;
- Ottimizzare l’organizzazione del personale [16];

4.6. Peculiarità di un APMS per aeroporti a forte stagionalità

Gli aeroporti a forte stagionalità sono definiti tali in quanto caratterizzati da una forte concentrazione del traffico di aeromobili, e di passeggeri, in un ristretto periodo dell’anno. Tale forte stagionalizzazione è prevalentemente concentrata nel periodo estivo, ovvero nell’arco di tempo compreso tra giugno e settembre. Obiettivo principale del gestore è quello di garantire la piena operatività dello scalo per tutto il periodo critico, consentendo di capitalizzare al massimo la domanda di mercato. Si tratta quindi di sviluppare un’elevata flessibilità operativa riguardo all’attività di monitoraggio, all’applicazione di una corretta manutenzione dell’infrastruttura aeroportuale e alla organizzazione delle risorse disponibili.

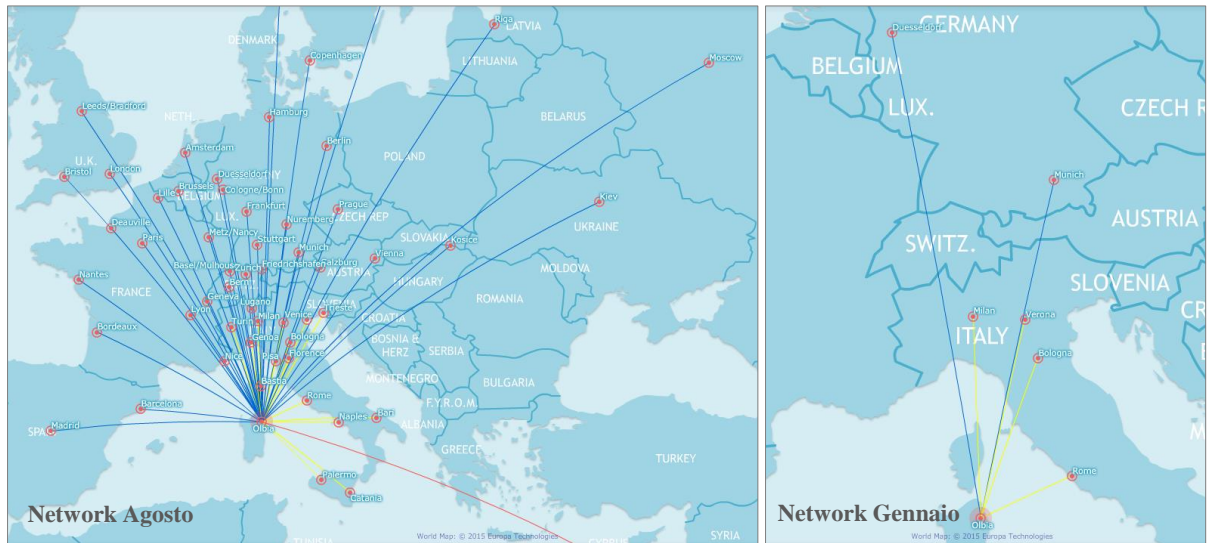


Immagine 11 - Network di connessioni di un aeroporto stagionale

All'interno del processo di monitoraggio e manutenzione la gestione ottimale della pavimentazione riveste particolare importanza e, in particolare, la stessa dev'essere mirata a garantire il livello prestazionale richiesto soprattutto nel periodo di maggiore utilizzo. Tale risultato può essere raggiunto attraverso l'applicazione di una politica di pianificazione finalizzata ad un'attenta gestione della sovrastruttura nel medio-lungo termine e, allo stesso tempo, garantire un'efficace capacità di rapido intervento nel caso di potenziale decadimento prestazionale.

5. La realizzazione del database

L'utilizzo di una banca dati adeguatamente strutturata costituisce valido supporto nella fase di selezione degli interventi di M&R appropriati. Secondo l'AC 150/5380-7A – Airport Pavement Management Program, sono 4 le categorie di riferimento dentro le quali inserire informazioni utili per un migliore valutazione:

1. Dati della pavimentazione, all'interno del quale sono inseriti dati quali materiali, spessori, eventuali interventi manutentivi che ne abbiamo variato la conformazione e altre informazioni utili;
2. Storico manutenzioni; l'analisi degli interventi eseguiti in passato consente di ottenere indicazioni pratiche in merito all'efficacia della soluzione adottata e i relativi costi sostenuti. Inoltre l'aspetto economico è rilevante per la programmazione degli interventi futuri (LCCA – Life-Cycle Cost Analysis).
3. Dati di traffico; l'analisi dello spettro di traffico, sia dal punto di vista quantitativo, ossia in termini di sollecitazione trasmessa, sia dal punto di vista qualitativo, ossia in termini di stress a fatica indotto dall'intensità di traffico, rappresenta un aspetto fondamentale per la valutazione delle caratteristiche dimensionali e strutturali della pavimentazione nonché ai fini della stima della vita residua della stessa. L'analisi dovrà tenere in considerazione anche l'evoluzione di traffico prevista sulla base della tendenza definita dallo studio di un determinato arco temporale oppure su indicazione della compagnia di gestione.
4. Condizioni della pavimentazione: la conoscenza delle condizioni superficiali e strutturali, nonché la definizione dei relativi modelli di decadimento, costituisce l'elemento principale per la realizzazione di un PMS. Le tecniche e i parametri adottati possono essere individuati dalla società di gestione, tuttavia è di massima importanza definire metodologie di classificazione che rispondano ai requisiti di oggettività, sistematicità e ripetibilità.

5.1. Suddivisione delle sovrastrutture

La realizzazione di un inventario relativo a tutte le strutture di volo costituisce un primo passo fondamentale per la struttura di un APMS. Per sua natura una sovrastruttura è soggetta ad invecchiamento e fatica e, proprio per questa ragione, avere un quadro generale sempre aggiornato sullo stato conservativo e una stima attendibile della vita utile residua di una pavimentazione rappresenta un dato fondamentale per il gestore aeroportuale. La conoscenza delle tecniche

costruttive adottate, degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria effettuati col trascorrere degli anni, del traffico di aeromobili cui è soggetta ogni parte dell'area di manovra, dei dati ambientali caratteristici del sito e dei costi, oltre al continuo monitoraggio delle infrastrutture attraverso indagini sia di tipo superficiale che di tipo strutturale, rappresenta un prezioso supporto nella pianificazione degli interventi da effettuare e la stima delle risorse economiche da destinare per la loro realizzazione.

Ultimata la creazione della banca dati è possibile procedere con la suddivisione delle strutture di volo in aree aventi caratteristiche omogenee secondo le informazioni raccolte con l'utilizzo di diversi indicatori quali la tipologia costruttiva, lo stato conservativo, le risultanze delle indagini strutturali nonché la tipologia e il numero di movimenti di aeromobili cui esse sono destinate. La suddivisione della pavimentazione può essere effettuata secondo quanto previsto dalla norma "ASTM D5340-11 – Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys" la quale prevede la costituzione di quattro diversi livelli:

- **Sistema – Network;**

Rappresenta l'intera sovrastruttura oggetto di analisi; nel caso di grandi aeroporti possono essere presenti più sistemi relativi a distinte piste di volo e alle relative vie di circolazione connesse alla stessa, mentre, nel caso di piccoli aeroporti, in particolare con una sola pista di volo, è presente un solo sistema.

- **Ramo – Branch;**

E' una parte del sistema che ha una sua specifica destinazione d'uso come, per es. la pista di volo, i raccordi, le vie di rullaggio e i piazzali di sosta.

- **Sezione – Section;**

Ogni settore viene frazionato secondo sezioni, ossia aree contraddistinte da omogenea tipologia costruttiva, stato conservativo, stesso volume di traffico e tipo di sollecitazione trasmessa; si tratta di una operazione basilare in quanto la sezione rappresenta la porzione minima della sovrastruttura su cui effettuare valutazioni relative alla pianificazione degli interventi di manutenzione e ricostruzione e ai relativi fondi da destinarvi.

– **Unità semplice – *Sample units*.**

L'unità semplice costituisce l'unità minima da indagare per l'applicazione del procedimento di valutazione delle condizioni superficiali previsto dalla norma; si tratta di aree di estensione definita e che, per pavimentazioni in conglomerato bituminoso, possono avere un'area di 450 (\pm 180) m², mentre, per pavimentazioni in cemento armato, deve essere preso in considerazione un insieme di 20 (\pm 8) lastre.

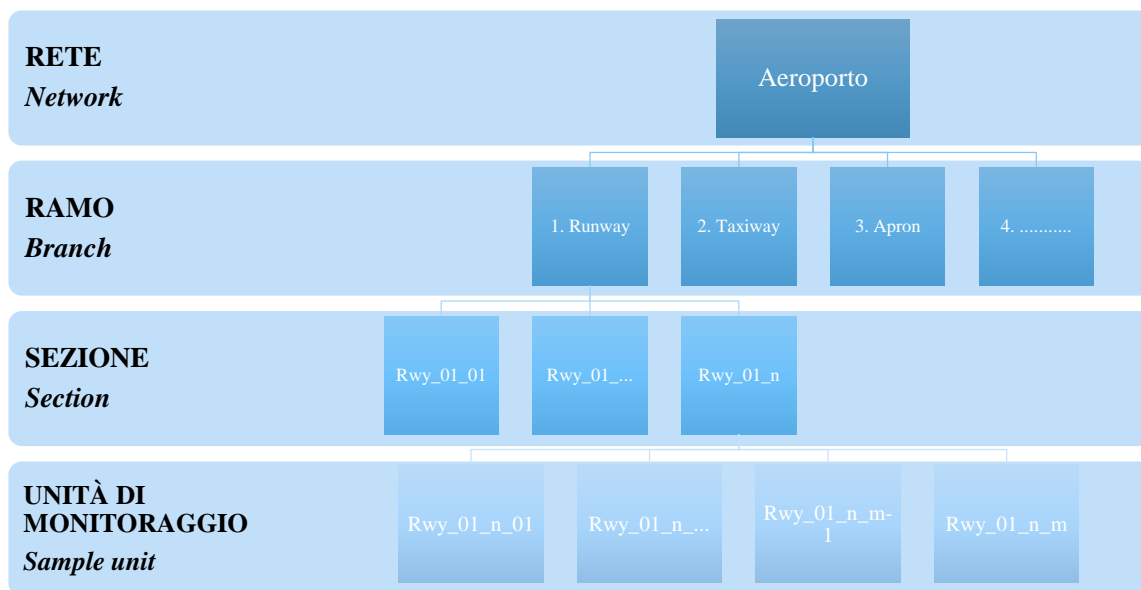


Immagine 12 – Segmentazione strutture di volo

5.2. Utilizzo del GIS – Sistema informativo computerizzato

Le tecnologie di analisi spaziale, come il GIS, forniscono strumenti efficaci per lo sviluppo di un PMS. Negli ultimi anni il ricorso a tali risorse è cresciuto costantemente anche grazie all'immissione sul mercato di sistemi poco costosi e facili da utilizzare. Più recentemente, altri sistemi di database spaziali e componenti software sono stati sviluppati appositamente per la gestione di una rete di sovrastrutture.

Un GIS è costituito da hardware, software, personale, organizzazioni e processi aziendali volti a sostenere l'acquisizione, gestione, la manipolazione, l'analisi, la modellazione e la visualizzazione dei dati georeferenziati per risolvere problemi di pianificazione e gestione complesse. Un programma completo include le procedure per l'immissione dei dati, sia da mappe, fotografie aeree, satelliti, sondaggi o altre fonti; memorizzazione dei dati, il recupero, e l'interrogazione; trasformazione dei dati, l'analisi e la modellazione, e la generazione di output, tra cui mappe, report e piani [17].

Nella fase di sviluppo di un GIS la parte più importante è rappresentata dalla grafica e dagli attributi dei dati da rappresentare. Infatti, nel lungo termine, l'adozione di un sistema GIS risulta più vantaggiosa rispetto all'uso di disegni CAD. Una volta completata l'implementazione di un APMS è possibile passare da disegni CAD e database su fogli di calcolo elettronici all'interfacciamento con software GIS.

6. Analisi dei dati

L'analisi dei dati deve consentire al Gestore Aeroportuale in modo rapido e affidabile, la localizzazione e la selezione degli interventi di ripristino che consentano di garantire il mantenimento di determinati requisiti di sicurezza ed efficienza. Per un'ottimale gestione dei dati è opportuno che siano definiti a priori i seguenti punti:

- Individuare tecniche e metodologie di raccolta anche definendo supporti hardware per l'analisi dati e software per la creazione di differenti scenari di spesa;
- Definire gli indicatori di stato da implementare all'interno del programma e pianificare un'attività di monitoraggio a frequenza prestabilita;
- Stabilire un arco temporale cui fare riferimento per la gestione tecnico-economica e per la programmazione degli interventi manutentivi e realizzare modelli di decadimento prestazionale specifici dell'infrastruttura in esame;
- Definire un catalogo dei dissesti chiaro e di immediato utilizzo comprensivo di programma ispettivo con raccolta dati rapida e oggettiva;
- Individuare tecniche di ripristino specificatamente adattate alla realtà dello scalo in esame definendone campo d'impiego, costi, beneficio e specifiche costruttive;
- Definire la metodologia di pianificazione degli interventi manutentivi (priorizzazione o ottimizzazione);
- Realizzare un programma di interventi da porre in atto all'interno dell'arco temporale considerato.

6.1. Analisi degli indicatori sullo stato prestazionale e strutturale

Un componente importante nell'ambito dell'implementazione di un APMS è costituito dalla conoscenza del livello prestazionale della pavimentazione e della relativa capacità portante. Il corretto approccio al monitoraggio continuo si basa principalmente sull'affidabilità, ripetibilità e oggettività del sistema adottato. I dati acquisiti possono quindi utilizzati per predire le condizioni future della sovrastruttura e individuare le aree che necessitano di intervento a seconda del criterio adottato o che necessitano una ulteriore indagine mirata ad ottenere un maggiore dettaglio. Allo stesso tempo la conservazione dei dati consente il riutilizzo e il confronto per future valutazioni.

Secondo la bozza di circolare ENAC APT-APMS [12], per la quale è in corso l'iter tecnico-amministrativo di approvazione e la ACRP Synthesis 22 [11], gli indicatori di stato da implementare in un APMS sono:

- ✓ Regolarità longitudinale e trasversale;
- ✓ Microtessitura e Macrotessitura;
- ✓ Portanza;
- ✓ Condizione superficiale – PCI.

Ogni indicatore consente di acquisire informazioni dettagliate relative al comportamento della pavimentazione sotto diversi aspetti. La regolarità longitudinale influisce sulla capacità direzionale e di comando del pilota durante l'atterraggio e il decollo, mentre quella trasversale assicura il deflusso delle acque meteoriche allontanando il rischio di aquaplaning. La microtessitura e la macrotessitura forniscono indicazioni relative alla capacità di aderenza dello strato di usura, fattore particolarmente rilevante soprattutto in condizioni di pista contaminata. La portanza indica la capacità strutturale della sovrastruttura e la sua conoscenza è molto importante in quanto consente di determinare la tipologia di aeromobile che può impegnare la pavimentazione e per quale numero di movimenti, oltre indicare la tipologia di intervento da programmare nel medio-lungo termine. Il monitoraggio della condizione superficiale consente di conoscere quali sono e il relativo grado di severità degli ammaloramenti presenti, i quali sono spesso indicatori di diverse problematiche. Infatti, grazie all'utilizzo dell'indice PCI – Pavement Condition Index, è possibile anche riconoscere altri ammaloramenti spesso legati a tessitura, regolarità, capacità portante, etc. Tale informazione sarà tanto più attendibile e mirata, tanto più è elevato il livello di formazione ed esperienza del rilevatore. L'acquisizione di un buon livello di esperienza consente di riconoscere rapidamente la tipologia di degrado e la causa o la concomitanza di cause che hanno portato ad una determinata situazione.

Nello specifico tema trattato all'interno del presente lavoro, ossia quello di scali a forte stagionalità, l'attenzione è stata incentrata su due ambiti di interesse: il primo è quello relativo all'evoluzione nel lungo termine del decadimento prestazionale e strutturale, mentre il secondo è quello relativo ad un orizzonte temporale ridotto. Alcuni parametri infatti sono influenzati dagli andamenti stagionali e pertanto è necessario considerare tale aspetto nella valutazione dei risultati delle indagini.

In riferimento agli indicatori di stato stabiliti dalla Circolare ENAC APT-APMS e alla tipologia di aeroporti in esame, la ricerca è stata incentrata in particolare sull'evoluzione temporale degli stessi e l'interferenza, dove presente, tra le prestazioni della pavimentazione e la stagionalità dello scalo.

6.1.1. La regolarità longitudinale e trasversale

La regolarità superficiale è definibile come l'insieme delle deviazioni della superficie della pavimentazione, aventi lunghezza d'onda superiore a 50mm, su cui si svolge il traffico da una superficie piana di riferimento aventi caratteristiche tali da influenzare il comportamento degli aerei, il comfort dei passeggeri ed il valore dei carichi dinamici applicati alla pavimentazione.

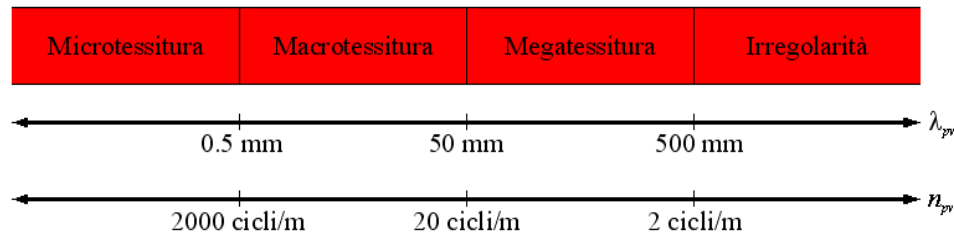


Immagine 13 – Differenti livelli di tessitura della pavimentazione

Il problema della definizione quantitativa delle caratteristiche di regolarità di una pavimentazione aeroportuale è di particolare rilevanza e legato a fattori quali:

- Percezione di comfort e sicurezza da parte dell'utente;
- Beneficio per la collettività per la riduzione del costo e del numero di incidenti;
- Difficoltà da parte del pilota nel controllo e governo dell'aeromobile e nella lettura dei comandi a causa delle accelerazioni verticali;
- Selezione di opportuni strumenti di misurazione delle irregolarità tali da consentire un'ottimale pianificazione degli interventi di manutenzione e relativa allocazione di budget;
- Indicazioni per l'industria aeronautica in merito alle sollecitazioni cui sono sottoposti gli aeromobili e indicazioni per le compagnie aeree riguardo alla frequenza di interventi manutentivi sulle parti sollecitate in fase di atterraggio [18].

La regolarità longitudinale viene categorizzata in due tipologie [19]:

- Irregolarità concentrate "Single Event Bump";
- Irregolarità distribuite "Profile Roughness".

La definizione della regolarità superficiale può essere condotta attraverso la misura di una tipologia di irregolarità oppure di entrambe.

6.1.2. Irregolarità concentrate “Single Event Bump”

Sono irregolarità isolate che si possono registrare in distanze relativamente ridotte, inferiori a 100 metri, dovute a graduali variazioni del profilo rispetto ad un piano ideale o variazioni concentrate spesso legate a interventi di costruzione o manutenzione. In funzione della velocità e della lunghezza dell’irregolarità il sistema di sospensioni di un aeromobile potrebbe non essere in grado di assorbire completamente le sollecitazioni trasmesse. Questa tipologia di irregolarità può essere misurata con l’utilizzo di un regolo valutandone la freccia massima all’interno dell’intervallo considerato [2].

La misura delle irregolarità concentrate può essere condotta attraverso la determinazione del “Boeing Bump” [20] [19], il quale, considerando segmenti di lunghezza fino a 120 metri, misura la distanza tra la superficie reale e la linea teorica tracciata dall’unione degli estremi del segmento considerato. La lunghezza massima del segmento non deve superare 120 metri in quanto oltre tale misura l’effetto di beccheggio indotto sull’aeromobile si può ritenere ininfluenza.

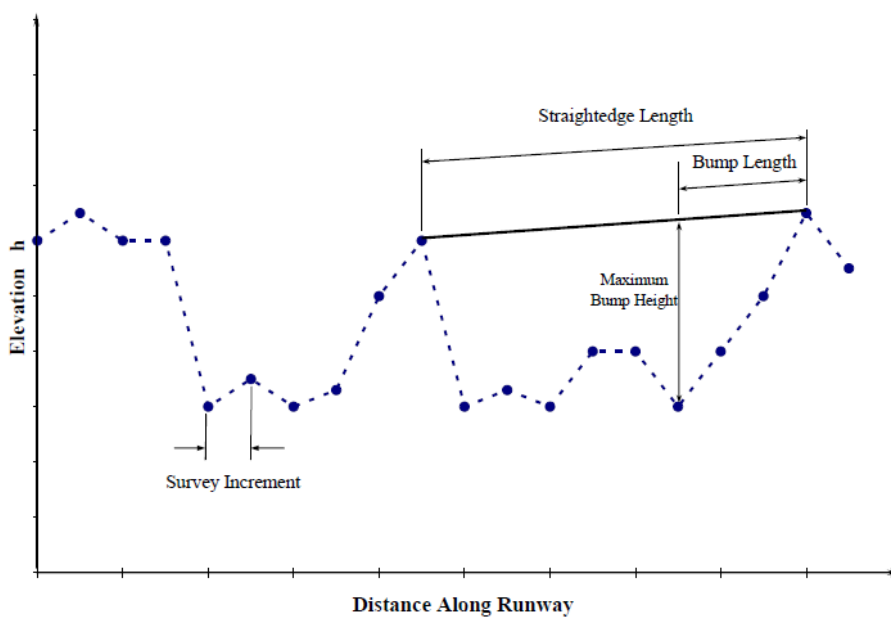


Immagine 14 - Schematizzazione del Bump-Height [20]

La valutazione del “Boeing Bump” prevede la valutazione di ogni combinazione possibile in termini di lunghezza e altezza lungo il tratto da indagare. Il metodo proposto dalla Boeing [20] propone 3 diversi livelli di valutazione del valore ottenuto, definiti sulla base dell’esperienza diretta, ossia *Acceptable*, *Excessive* e *Unacceptable*.

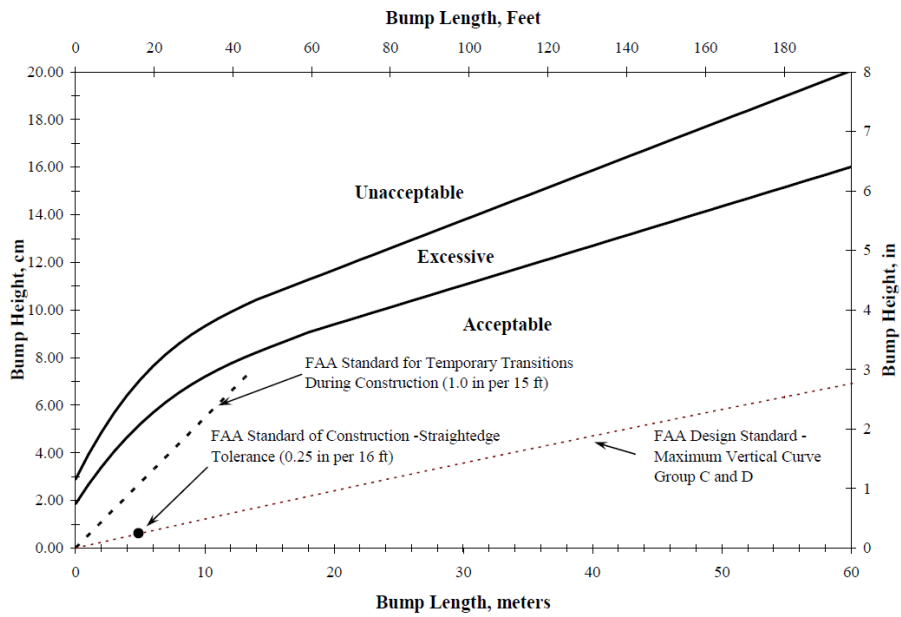


Immagine 15 - Criteri di accettazione del Boeing Bump [20]

La valutazione ricorsiva del valore di “Boeing Bump” può richiedere ingenti quantità di tempo e difficoltà di lettura immediata dei dati qualora si abbia intenzione di valutare gli stessi per la programmazione di interventi manutentivi. Per poter disporre di un dato immediato è stato introdotto il “Boeing Bump Index”.

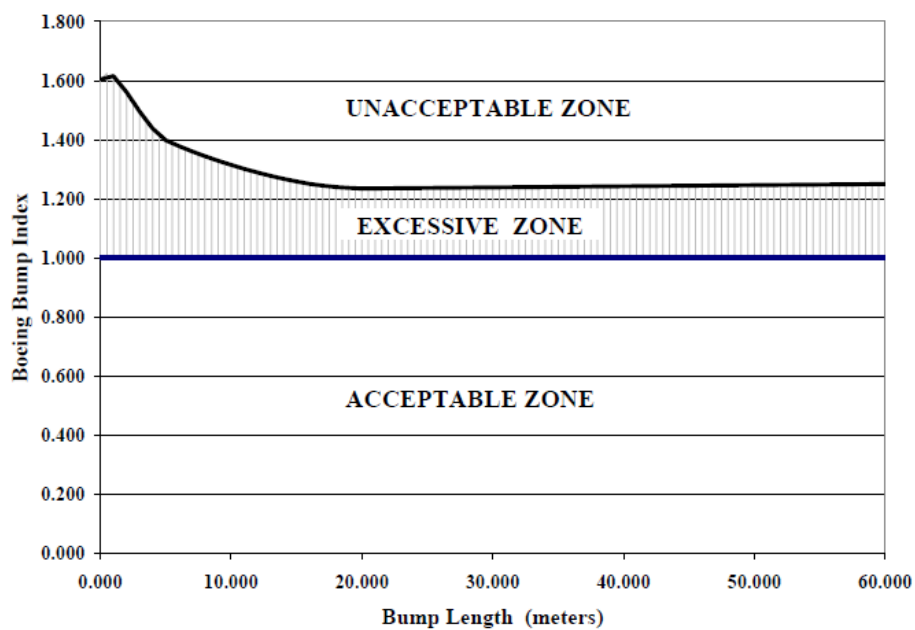


Immagine 16 – Criteri di accettazione del BBI- Boeing Bump Index [20]

6.1.3. Irregolarità distribuite “Profile Roughness”

Sono non planarità della superficie della pavimentazione distribuite su lunghezze significative (porzioni significative della pista di volo) che producono fatica nei componenti strutturali, riducono l'azione frenante, pregiudicano le operazioni in cabina e causano una diminuzione del confort per i passeggeri; anche in questo caso gli effetti dipendono dalla velocità oltre che dalla massa e dalle dimensioni del velivolo (le irregolarità distribuite possono indurre nel sistema di sospensione sollecitazioni prossime alle frequenze di risonanza, producendo una amplificazione delle vibrazioni e accelerazioni sull'aeromobile) [12].

Le tecniche di più ampio impiego per l'interpretazione dei profili delle pavimentazioni e per la valutazione di indicatori statistici significativi risultano invece essere le seguenti:

- Scarto quadratico medio dell'accelerazione (RMSVA);
- Simulazione con un modello detto “Quarter-car” (International Roughness Index “IRI”);
- Variazione di pendenza trasversale.

Attraverso la misura dei profili longitudinali ottenuti lungo 3 o più allineamenti è possibile inoltre valutare l'andamento della pendenza trasversale il quale dev'essere monitorato con la stessa frequenza temporale e tenuto entro i valori limite previsti dal Regolamento ENAC e Annex 14 ICAO.

6.2. Microtessitura e macrotessitura

La microtessitura e la macrotessitura sono le irregolarità della pavimentazione aventi, per definizione, ampiezza d'onda λ inferiore a 50 mm e sono le componenti determinanti per garantire un'adeguata aderenza nello scorrimento degli pneumatici. Nello specifico la microtessitura riveste maggiore importanza ed è predominante in condizioni di asciutto mentre la macrotessitura prevale in condizioni di bagnato.

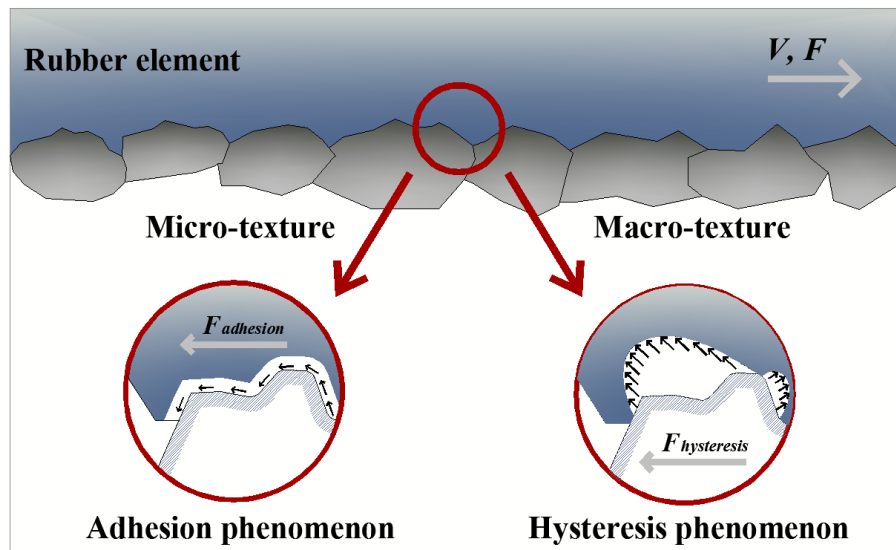


Immagine 17 – Interazione tessitura piano viabile-pneumatico [21]

La tessitura superficiale della pavimentazione può essere definita attraverso la misura delle asperità del manto di usura. Queste asperità possono essere presenti in varia scala, variando dalla micro-tessitura che caratterizza il singolo aggregato che fino a vere e proprie irregolarità che si estendono per diversi metri di lunghezza. Tuttavia le caratteristiche di tessitura che sono strettamente legate all'aderenza sono la microtessitura e la macrotessitura [22] dominanti, rispettivamente, a bassa velocità e ad alta velocità.

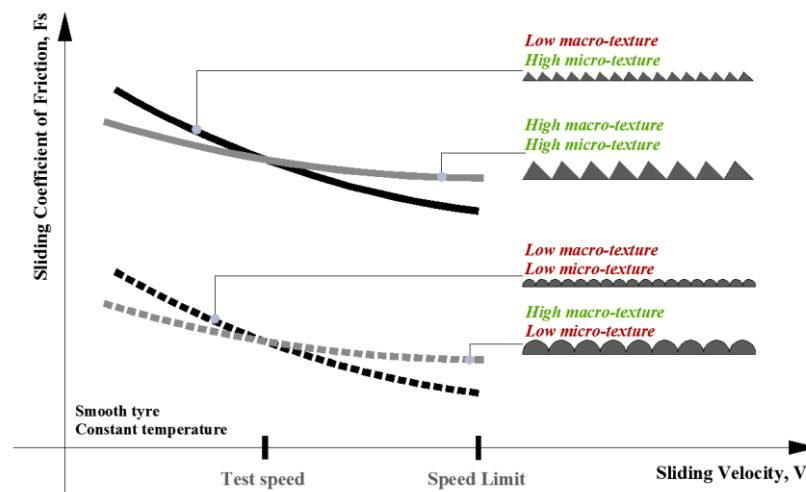


Immagine 18 – Contributo delle componenti di micro- e macro-tessitura in funzione della velocità

Le caratteristiche di tessitura della pavimentazione sono definite come le deviazioni dello strato superficiale rispetto ad un superficie piana [21]. Queste deviazioni, a seconda della loro grandezza relativa, possono incidere sotto diversi aspetti nel moto di un aeromobile. A seconda della lunghezza d'onda λ e dell'ampiezza "peak-to-peak" A , sono presenti tre diverse categorie. La macro-tessitura

è compresa all'interno delle lunghezze d'onda comprese tra 0,5 mm e 50 mm. A lunghezze d'onda inferiori è associata la micro-tessitura mentre a lunghezze d'onda maggiori è associata la mega-tessitura fino a λ pari a 500 mm, oltre tale valore si parla di irregolarità [23] [22].

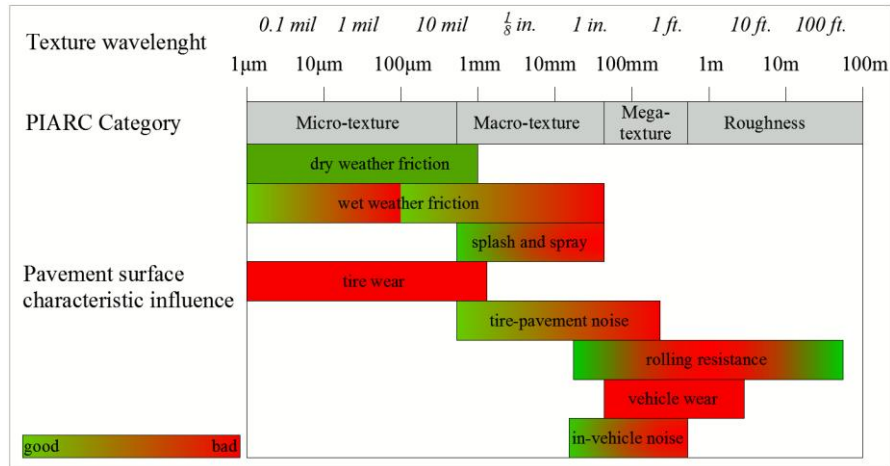


Immagine 19 - Classificazione delle caratteristiche superficiali e relativa influenza sul moto

L'aderenza svolge un ruolo chiave nell'ambito delle sovrastrutture aeroportuali, in particolare sulla pista di volo, in quanto la stessa influenza la fase di frenata durante l'atterraggio o in caso di rinuncia al decollo, permette di assicurare il controllo direzionale in fase di manovra e consente il rapido rotolamento delle ruote dei carrelli nell'attimo di toccata [24]. Un'indagine condotta su scala globale relativa a incidenti di aerei commerciali ha messo in evidenza che su un tempo di volo previsto di 1,5 ore, solo il 2% viene utilizzato per le fasi di decollo e atterraggio, ma in questa fase si verifica il 30% degli incidenti mortali [25]. La scarsa aderenza spesso costituisce una delle cause, talvolta la principale, a determinare incidenti che possono comportare l'uscita di pista da parte dell'aeromobile.

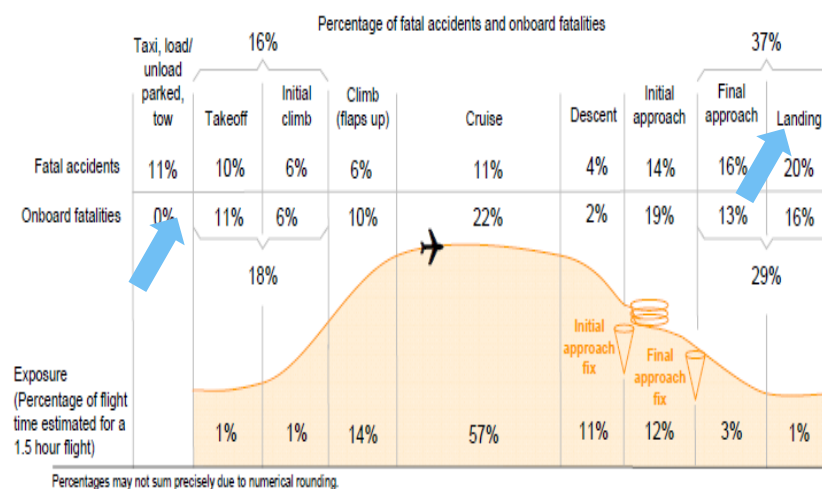


Immagine 20 – Statistica incidenti aerei 1959-2011 [25]

6.2.1. Le caratteristiche di microtessitura

Il monitoraggio dell'aderenza deve essere effettuato in accordo a specifici standard che, in ambito nazionale sono regolati dalla Circolare ENAC APT 10A [26], la quale recepisce le indicazioni previste dal documento ICAO Doc 9137 "Airport service manual – Part 2 Pavement surface condition" [24] e dall'Advisory Circular 5320-12c della FAA [27].

All'interno dell'appendice A della circolare ENAC sono indicati i valori soglia, in funzione della velocità di percorrenza, per le apparecchiature più comuni di misura dell'aderenza; nello specifico vengono definiti tre livelli che sono associati a: *design level*, livello atteso in seguito a nuova costruzione o rifacimento della manto di usura, *maintenance level*, ossia il livello al di sotto del quale è necessario programmare interventi correttivi, e *minimum friction level*, livello minimo del coefficiente di aderenza al di sotto del quale è necessario informare gli addetti di condizioni di pista scivolosa se bagnata, nonché debbono essere intraprese azioni correttive in tempi rapidi. Nell'appendice B è invece indicata la frequenza temporale delle misure in funzione del volume di traffico di aeromobili dello scalo.

In condizioni di pista asciutta il coefficiente di attrito è spesso sufficiente per garantire un'adeguata azione frenante, mentre in condizioni di bagnato e in combinazione con altri agenti contaminanti si verifica una sensibile diminuzione del coefficiente a causa della formazione di uno strato di separazione che causa la riduzione della superficie di contatto tra pneumatico e pavimentazione. Proprio per questo motivi, i dispositivi di prova ammessi devono essere dotati di sistema di "self-wetting" per la formazione di un velo idrico tale da simulare le condizioni di pista bagnata durante l'esecuzione dei test. Da ciò nasce l'esigenza di effettuare un continuo monitoraggio affinché gli operatori siano a conoscenza caratteristiche di aderenza della pista. La finalità del controllo continuo da parte del gestore è orientata su due motivazioni principali: una legata alla sicurezza delle operazioni e una legata all'aspetto gestionale. Dal punto di vista gestionale la conoscenza del livello di aderenza consente di ottimizzare la pianificazione e la selezione degli interventi da porre in atto, consentendo allo stesso tempo la creazione di una banca dati storica da utilizzare per valutare l'evoluzione delle caratteristiche superficiali e per valutare l'efficacia degli interventi effettuati nel caso di rimozione della gomma. Dallo storico degli interventi è possibile anche definire le azioni idonee nel caso di presenza di altri contaminanti quali ghiaccio, "slush" e neve compatta. Le attività di monitoraggio e di manutenzione sono quindi mirate a soddisfare i requisiti standard, come indicato dalla normativa, e fornire informazioni utili agli operatori circa le caratteristiche superficiali. I dati acquisiti, assieme ad altri fattori, quale pendenza trasversale, drenaggio e macro-tessitura consentono di definire le strategie migliori, specialmente attraverso l'implementazione in un APMS.

I fattori che influiscono sull'aderenza disponibile sono di diverso tipo e possono essere associati a quattro principali categorie [28]:

1. Tessitura dello strato di usura;
2. Tipologia del mezzo;
3. Proprietà degli pneumatici;
4. Fattori ambientali.

In particolare il coefficiente di aderenza è altamente dipendente dalla tessitura superficiale, presenza di contaminanti, velocità, spessore del velo d'acqua, temperatura e livello di usura del pneumatico. La formazione di un velo d'acqua in combinazione con la presenza un film sottile costituito da gomma e/o agenti inquinanti (quali oli dispersi nell'aria o rilasciati dagli aeromobili) oppure la presenza di un velo d'acqua su uno strato superficiale della pavimentazione particolarmente usurato, determinano una riduzione pericolosa del coefficiente di attrito.

Tabella 1 – Fattori che influiscono sulla misura del coefficiente di attrito

Fattori che influiscono sulla misura del coefficiente di attrito [29]	
Caratteristiche dello strato di usura	
	<ul style="list-style-type: none"> * Microtessitura * Macrotessitura * Megatessitura * Temperatura
Caratteristiche del mezzo di rilevamento	
	<ul style="list-style-type: none"> * Velocità di scorrimento: <ul style="list-style-type: none"> - Velocità di rilevamento - Azione frenante * Tipo di guida: <ul style="list-style-type: none"> - Azione in curva - Fase di sorpasso
Proprietà degli pneumatici	
	<ul style="list-style-type: none"> * Impronta * Condizioni di usura * Tipologia di mescola * Pressione di gonfiaggio * Carico * Temperatura di prova
Fattori ambientali	
	<ul style="list-style-type: none"> * Fattori climatici: <ul style="list-style-type: none"> - Vento; - Temperatura; - Presenza d'acqua (pioggia, condensa, etc....) - Neve e ghiaccio * Contaminanti: <ul style="list-style-type: none"> - Materiale anti-scivolo (sale, sabbia, etc....) - Polvere, fango, detriti

La tecnica di rilevamento utilizzata influisce sulla determinazione del coefficiente di aderenza in quanto l'interazione pneumatico-pavimentazione, e quindi l'aderenza, cambia a seconda della percentuale di scorrimento fissata. Infatti il coefficiente di aderenza aumenta notevolmente fino ad una percentuale del coefficiente di scorrimento compresa tra il 10% e il 20%, dove si raggiunge il

picco del coefficiente di aderenza. Aumentando la percentuale di scorrimento, è possibile notare una diminuzione repentina del coefficiente di attrito fino ad una fase intermedia precedente al bloccaggio del pneumatico [22].

Le proprietà dei materiali utilizzati per la realizzazione dello strato di usura (p.es. mix design, provenienza degli aggregati), contribuiscono notevolmente sulle caratteristiche di tessitura, in particolare sulla resistenza all'usura nel lungo termine per la quale sono richiesti aggregati e un mix design tali da garantire un'alta resistenza all'abrasione e all'usura.

Le proprietà degli pneumatici, il design del battistrada, il livello di usura e la pressione di gonfiaggio influiscono sulla interazione pneumatico-pavimentazione, specialmente in condizioni di bagnato. In ambito aeroportuale gli pneumatici hanno una configurazione del battistrada tale da favorire una maggiore superficie di contatto tra pavimentazione e gomma. La pressione di gonfiaggio dev'essere opportunamente controllata in quanto legata alla velocità critica di aquaplaning, infatti in caso di minore o maggiore pressione si ha una diminuzione della superficie di contatto pneumatico-pavimentazione e, in caso di bassa pressione, in presenza di un velo idrico, questo fattore determina anche una riduzione della velocità critica di aquaplaning. L'aquaplaning può verificarsi in presenza

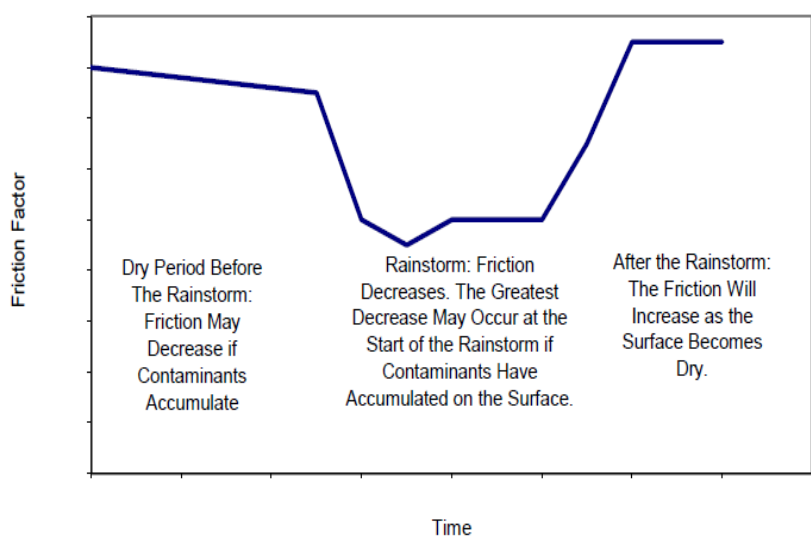


Immagine 21 – Variazione di aderenza in funzione di eventi atmosferici [31]

di strati di acqua relativamente spessi e in funzione della velocità di percorrenza; per ridurre il rischio è necessario garantire, oltre ad un regolare deflusso dell'acqua, anche un adeguato livello di micro-tessitura e macro-tessitura.

I fattori climatici costituiscono un ampio spettro di cause che incidono sull'aderenza. Infatti influenzano il coefficiente di aderenza disponibile sia fattori climatici (vento, temperatura, acqua, neve e ghiaccio) sia il deposito di contaminanti ad essi correlati (fango, detriti, polvere). Diversi progetti di ricerca hanno focalizzato la loro attenzione sulla misura dell'influenza della temperatura, concludendo che ad un aumento della temperatura succede la diminuzione dell'aderenza, senza che

se ne possa indicare l'esatta incidenza. In generale, durante la stagione estiva l'aderenza è inferiore rispetto agli altri periodi dell'anno. Questo fenomeno è spiegato dal fatto che durante il periodo di scarse piogge si ha un accumulo di gomma per effetto del traffico e di agenti contaminanti dispersi nell'aria oppure rilasciati dagli aeromobili stessi in transito. Per contro, con l'arrivo della stagione delle piogge, si ha un effetto lavante delle stesse, le quali rimuovono il film sottile di contaminante che si era creato in precedenza [30]. Nello specifico, analizzando nel dettaglio l'effetto delle piogge è possibile individuare diverse fasi. Nel periodo precedente si ha una moderata diminuzione dell'aderenza dovuta al graduale accumulo di agenti contaminanti, fino all'arrivo delle piogge. Con l'inizio delle piogge si verifica una brusca diminuzione dell'aderenza dovuta alla miscela che si viene a creare tra agente atmosferico e agenti contaminanti precedentemente depositatisi; in questa fase si registra il valore minimo del coefficiente di aderenza. In particolare i contaminanti con presenza di olio sono quelli potenzialmente più dannosi [31]. Questa fase particolarmente critica dura finché le stesse piogge non lavano via i contaminanti. Successivamente, mentre la pavimentazione ritorna in condizioni di asciutto, l'aderenza tenderà ad assumere i valori iniziali [32].

Questa panoramica ha dimostrato che esistono numerosi fattori che giocano un ruolo importante sull'aderenza. L'obiettivo principale deve essere quello di assicurare un adeguato livello di micro-tessitura e macro-tessitura in tutte le condizioni atmosferiche nell'interazione pneumatico-pavimentazione.

6.2.2. La macro-tessitura.

La macro-tessitura è legata al fenomeno di isteresi che si verifica durante il rotolamento dal contatto tra pneumatico e pavimentazione. Il fenomeno diventa predominante ad alta velocità e in presenza di contaminante, il quale, creando un film di separazione, riduce sensibilmente la forza resistente rappresentata dall'adesione molecolare. Questa riduzione si verifica anche nel caso di pioggia dove, per effetto del velo idrico che si viene a creare, l'aderenza dipende prevalentemente dalla macro-tessitura, ovvero dalla composizione granulometrica dello strato di usura o dalle scanalature realizzate artificialmente [33].

Diversi studi si sono concentrati sulle tecniche di rilevamento della macro-tessitura, finalizzati anche a determinare una misura dell'aderenza offerta dalla pavimentazione. La macro-tessitura di una pavimentazione può essere misurata attraverso tecniche di rilevamento a bassa velocità o stazionarie, quali gli strumenti laser e i test volumetrici, oppure con apparecchiature ad alta velocità con acquisizione continua di dati, attraverso l'acquisizione con laser montato su automobile.

Le strumentazioni attualmente disponibili per la misura della macro-tessitura sono:

Tabella 2 – Tecniche di rilevamento della macrotestitura

Tecniche di rilevamento della macrotestitura	
Alta velocità	- Laser Profile Method
Bassa velocità	- Sand Patch Method - Grease Patch Method - Outflow Meter - Circular Texture Meter

Le tecniche di rilevamento a bassa velocità o stazionarie sono spesso poco costose ma forniscono indicazioni a carattere localizzato mentre, viceversa, le apparecchiature di rilievo ad alta velocità consentono l'acquisizione dei dati in modalità continua ma sono più costose.

6.2.2.1. Fattori che influiscono sulla macro-tessitura.

I fattori che influiscono sulla macro-tessitura sono dovuti principalmente alle caratteristiche degli aggregati e del bitume utilizzati, al mix design adottato e alla modalità di stesa. Gli aggregati costituiscono circa il 95% del mix design di un conglomerato bituminoso e pertanto la macro-tessitura è sostanzialmente dipendente da questo fattore [22]. Nella fase di selezione degli aggregati è importante verificare il fattore di forma, la sua resistenza e la presenza di spigoli vivi, preferendo l'utilizzo di inerte proveniente da frantumazione.

La progettazione del mix design deve essere quindi finalizzata a garantire la massima aderenza sotto le diverse condizioni atmosferiche. Nella fase di costruzione del mix design anche la scelta e la percentuale di bitume da utilizzare costituiscono una voce importante. L'utilizzo di un materiale poco viscoso oppure l'utilizzo di un quantitativo percentuale eccessivo possono determinare la separazione e la risalita del bitume in superficie comportando la saturazione delle asperità presenti a livello di micro-tessitura e macro-tessitura con conseguente riduzione dell'aderenza, specialmente in condizioni di bagnato.

6.2.3.Indicatori della condizione strutturale

La capacità strutturale di una pavimentazione aeroportuale deve essere tale da sopportare i carichi trasmessi da un determinato spettro di traffico di aeromobili per la vita utile di progetto. Tuttavia, una variazione dello spettro di traffico oppure una maggiore intensità di movimenti possono comportare la riduzione oppure l'estensione della vita utile residua. Per conoscere la capacità portante di una pavimentazione è possibile ricorrere a diverse tecniche di rilevamento, le quali consentono di definire il livello strutturale della sovrastruttura indagata. Successivamente, dalle indagini svolte, è possibile individuare diversi indicatori della capacità portante i quali, attraverso una ripetizione delle prove predefinita e ad intervalli prefissati, consente di istituire una curva di

decadimento. In linea generale, gli indicatori strutturali vengono utilizzati all'interno del *Project Level*, ossia all'interno della fase di progettazione dettagliata dell'intervento. Le indagini di tipo strutturale possono essere condotte attraverso due differenti tecniche: distruttive e non distruttive. Nel seguente schema è possibile individuare la tipologia di prova, sia essa distruttiva sia essa non distruttiva, cui è possibile ricorrere per condurre la caratterizzazione meccanica dei materiali e indagini conoscitive sulla capacità portante.



Immagine 22 – Tecniche per il monitoraggio strutturale

In ambito aeroportuale, tra le tecniche di indagine utilizzate per il rilevamento delle caratteristiche strutturali di una sovrastruttura, la più utilizzata è quella della misura della risposta della pavimentazione a seguito dell'applicazione di un carico di tipo impulsivo. L'applicazione del carico impulsivo viene condotta con apparecchiature dotate di deflettometro in grado di simulare il carico di un aeromobile in transito su un determinato punto. La strumentazione comunemente utilizzata è il Falling Weight Deflectometer (FWD) oppure, specialmente in ambito aeroportuale, l'Heavy Falling Weight Deflectometer, il quale, essendo dotato di una massa battente più pesante, simula la sollecitazione di un aeromobile.



Immagine 23 – Heavy Falling Weight Deflectometer

Le prove deflettometriche consentono di rilevare il bacino di deflessione conseguente al carico trasmesso attraverso la misura dell'abbassamento rilevato da i geofoni, i quali sono posizionati a distanza progressiva dal centro di carico. Attraverso l'analisi e il trattamento dei dati è quindi possibile conoscere sia la capacità strutturale globale della pavimentazione investigata, sia la capacità portante dei singoli strati. Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso l'applicazione di due diversi approcci metodologici:

- ✓ Back-calculation;
- ✓ Forward-calculation

A seconda del metodo adottato il processo di determinazione della capacità portante differisce in modo sostanziale. La back-calculation può essere eseguita attraverso l'ausilio di software di calcolo che, conoscendo anche gli spessori di calcolo, determina per iterazione il modulo resiliente degli strati costituenti la pavimentazione e del sottofondo.

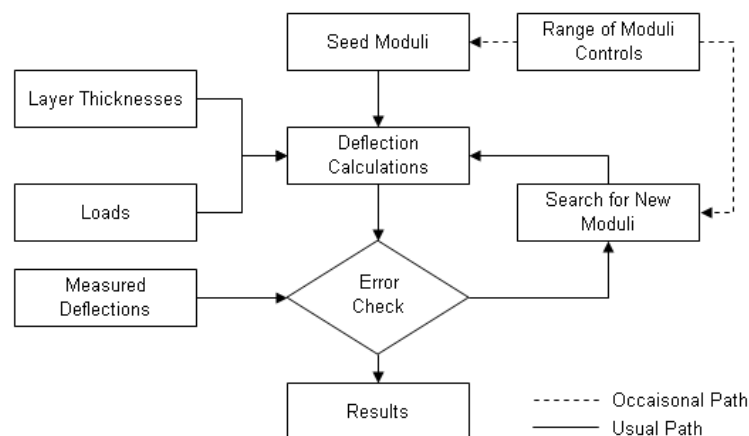


Immagine 24 – Schema di back-calculation

La forward-calculation è una tecnica di facile applicazione che prevede l'analisi diretta delle deflessioni ricorrendo all'utilizzo di indicatori prestazionali associati ai diversi strati della pavimentazione. Generalmente deflessioni rilevanti sono da associare ad una pavimentazione con scarsa portanza mentre bassi valori indicano una pavimentazione con buona capacità strutturale. Per conoscere quali strati hanno un comportamento più o meno deficitario è necessario ricorrere ad un'analisi più dettagliata del bacino di deflessione. Attraverso l'analisi dei dati è possibile conoscere diverse caratteristiche della sovrastruttura, in particolare i moduli dei rispettivi strati e il valore numerico del PCN [4].

Il processo di elaborazione in back-calculation può comunque portare a valutazioni non sempre accurate a causa delle ipotesi di calcolo e caratteristiche dei materiali assunte, del modello di calcolo

adottato o interpretazioni personali [34]. Numerosi studi sono stati effettuati con l’obiettivo ottenere informazioni rapide, senza il ricorso a particolari elaborazioni ricorrendo a software commerciali, in grado di fornire indicazioni sulla capacità portante della sovrastruttura indagata, ricorrendo all’uso diretto dei valori di deflessione o da una combinazione degli stessi [35] [36]. Al livello di *Network Level*, un’indicazione di tipo generale sulla condizione strutturale è fornita dal valore massimo di deflessione [37] [38], mentre indicazioni relative ai singoli strati possono essere ottenute attraverso la combinazione di diversi valori di deflessione. La forma del bacino di deflessione permette di ottenere informazioni relative al comportamento dei singoli strati. Vengono definite 3 zone del bacino di deflessione: la zona più vicina al punto battuta fornisce indicazioni relative allo strato superficiale della pavimentazione

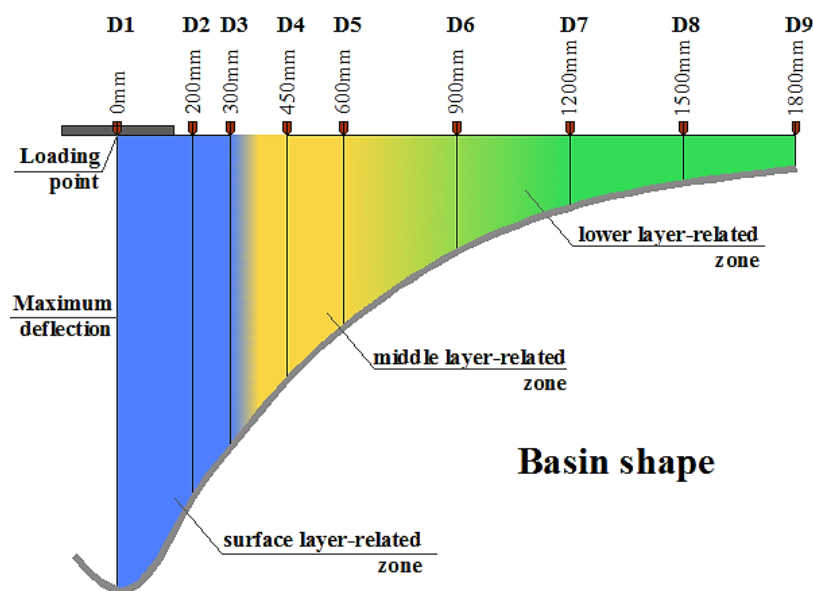


Immagine 25 – Relazione bacino di deflessione – strati della pavimentazione

Nella valutazione della capacità portante si devono tenere in particolare considerazione i fattori che possono influire sui risultati. Principalmente la risposta della pavimentazione è legata alle impostazioni del dispositivo di prova e alle condizioni climatiche, come indicato nella tabella seguente:

Tabella 3 – Fattori che influenzano prove deflettometriche

Fattori che influenzano le campagne deflettometriche	
Impostazioni dispositivi di prova	
	<ul style="list-style-type: none"> * Carico applicato * Modalità di carico * Area di carico
Condizioni climatiche	
	<ul style="list-style-type: none"> * Temperatura della sovrastruttura * Presenza di acqua negli strati inferiori * Sottofondo sottoposto a cicli di gelo-disgelo

Nello specifico la temperatura della pavimentazione influisce sensibilmente sugli strati superficiali, specialmente se realizzati in pavimentazione di tipo flessibile, mentre gli strati inferiori risentono in particolare della presenza di acqua [39].

6.2.3.1. Il metodo ACN/PCN

Nel 1981 l'ICAO ha introdotto un nuovo sistema di classificazione delle pavimentazioni aeroportuali denominato “*ACN/PCN Method*”, dove le sigle indicano:

- ACN (Aircraft Classification Number);
- PCN (Pavement Classification Number).

Con l'introduzione di questo metodo l'ICAO mirava a formulare un processo standard per la classificazione delle pavimentazioni aeroportuali, senza tuttavia imporre la procedura da seguire per la determinazione della loro portanza, lasciando che siano le singole compagnie di gestione a determinarlo.

La definizione classica dei due indici è la seguente:

- ACN: numero che esprime l'effetto relativo di un dato aeromobile, con specifiche proprietà, che agisce su una sovrastruttura con un sottofondo di determinate caratteristiche di portanza;
- PCN: numero che esprime la capacità portante della sovrastruttura per un numero abbastanza elevato di operazioni sulla pista; nell'ipotesi di pavimentazione flessibile si assume un numero di ricoprimenti pari almeno a 10000.

L'obiettivo del metodo è l'elaborazione dei due parametri, in modo tale che per un determinato aeroporto si abbia un unico valore PCN, il quale indica che la struttura è in grado di sopportare, senza nessun limite legato al peso, un aeromobile con un valore ACN, che varia a seconda del modello, il quale dev'essere inferiore o uguale, per far sì che il mezzo possa manovrare senza creare problemi alla sovrastruttura.

Fermo restando che il metodo è inteso valido per pavimentazioni che abbiano una resistenza uguale o maggiore a 5700 Kg, il confronto è possibile grazie al fatto che entrambi i parametri vengono formulati con le stesse tecniche di base.

Inoltre, come indicato nel “Manuale di progettazione degli aeroporti”, il metodo non è un sistema alternativo per la progettazione di una sovrastruttura, ma indica la capacità di una pista ad accogliere

un aeromobile, senza che le operazioni che questo deve effettuare inducano la pista ad un deterioramento accelerato delle caratteristiche di resistenza, aiutando lo studio di esse e fornendo un riferimento valido agli operatori aeroportuali.

Lo stesso Manuale impone anche che le caratteristiche di portanza vengano regolarmente controllate da personale qualificato ed estese a tutta la pavimentazione (suddivisa, a seconda della finalità in runway, taxiway e apron -airport ramp-) facente parte dell'area di movimento.

– **ACN (Aircraft Classification Number)**

La valutazione corretta del parametro ACN necessita della conoscenza di molteplici caratteristiche dell'aeromobile in considerazione, le quali vengono fornite direttamente dalle industrie produttrici, con il vantaggio che si ottiene un valore univoco per ogni rispettivo modello.

I principali parametri da utilizzare sono:

- Massimo carico di rampa con centro di gravità arretrato a poppa;
- Carico a vuoto in condizioni operative;
- Spaziatura fra le ruote;
- Pressione di gonfiaggio degli pneumatici;

Per quanto riguarda le caratteristiche della sovrastruttura che influiscono nella valutazione del parametro, queste possono ottenersi secondo due procedure.

Se si considera una pavimentazione flessibile si utilizza la teoria di Boussinesq con riferimento all'indice C.B.R. (California Bearing Ratio) per ogni categoria di sottofondo della pavimentazione, mentre se si considera una pavimentazione di tipo rigido si utilizza la teoria di Westergaard rielaborata, riferendosi ad una tensione di lavoro nel calcestruzzo, dovuta a trazione per flessione, di 2,75 MPa.

A causa delle varie tipologie di aeromobili e delle diverse disposizioni delle ruote si è reso necessario introdurre il concetto di “ruota singola equivalente” (avente una pressione di gonfiaggio standard pari a 1,25 MPa), che indica lo spessore di pavimentazione necessario a sopportare il velivolo. Di seguito, mediante dei coefficienti correttivi, si terrà conto della pressione di gonfiaggio e del peso dell'aeromobile. Le industrie produttrici forniscono diversi valori ACN in base alle seguenti configurazioni:

- Massimo carico statico al decollo;

- Carico operativo a vuoto.

Per entrambe vengono presi in considerazione quattro diversi tipi di sottofondo con indice CBR pari a 15%, 10%, 6%, 3%.

– **PCN (Pavement Classification Number)**

Il primo passo da effettuare per la valutazione del PCN è quello di stabilire quale è o quale sarà l'aereo critico (o di progetto) per la pavimentazione in analisi. Una volta determinato l'aereo critico, con il relativo ACN, si passa a calcolare il PCN, affinché tale aereo possa manovrare sulla sovrastruttura in analisi senza nessuna limitazione riguardo al carico o alla pressione di gonfiaggio. Da ciò si deduce che la regola impone che il valore ACN debba essere minore o uguale al valore PCN. Quindi dovrà essere:

$$ACN \leq PCN$$

Per un numero di movimenti non superiore al 5% del totale annuo, sono possibili operazioni in sovraccarico con un ACN che supera il PCN del:

- **10%** per pavimentazioni flessibili
- **5%** per pavimentazioni rigide

Se la struttura del sottofondo non è nota si applica in ogni caso la percentuale del 5%. Sovraccarichi superiori occasionali sono ammissibili, previa valutazione tecnica, tenendo conto che una maggiore sollecitazione delle pavimentazioni ne riduce la vita utile.

Per determinare il valore numerico del PCN per una determinata pista, l'ICAO permette l'utilizzo di due metodi:

- Metodo dell'aeroplano (airplane method)*
- Metodo tecnico (technical method)*

Metodo dell'aeroplano

Si tratta di un metodo che può essere utilizzato nel caso in cui non si abbiano approfondite notizie, sia riguardo alle caratteristiche della sovrastruttura aeroportuale, sia riguardo il traffico aereo.

Viene utilizzato anche nel caso in cui è richiesto il parametro sulla base di valutazioni sommarie e che prescindano da indagini ingegneristiche. Si tratta, in prima analisi, di determinare il traffico circolante sulla pavimentazione e conseguentemente individuare l'aereo con il più alto valore ACN.

Questo sarà considerato l'aereo critico. Successivamente lo stesso valore ACN viene preso come valore PCN della pista. Come si può rapidamente intuire, questo sistema di valutazione non tiene conto della distribuzione di frequenza di traffico dei singoli aerei e ciò potrebbe portare, nel caso in cui l'aereo di progetto assunto abbia una bassa frequenza, all'assunzione di un valore del PCN sovrastimato. Viceversa adottare un PCN troppo basso potrebbe indurre la Società di Gestione dell'aeroporto a dover rivedere le proprie strategie sempre in termini di traffico aereo, ma con conseguenze sull'economia.

Metodo tecnico

Questo metodo nasce con l'esigenza di avere una descrizione sempre più dettagliata riguardo alle capacità della sovrastruttura da analizzare, soprattutto perché tiene in considerazione frequenza di traffico e sistema di trasmissione del peso dell'aeromobile sulla pavimentazione. Per contro, la maggior precisione ottenibile con questo sistema, richiede maggior tempo per l'elaborazione dei dati e notevoli risorse. Infatti in questo caso sono necessarie indagini in situ, come ad esempio test con prove di carico, per quanto riguarda lo studio della pavimentazione, mentre per lo studio relativo al traffico operante bisognerà tener conto, fra gli altri, della frequenza delle operazioni, dell'aereo più grande (in termini di peso) e del relativo carrello che scarica il suo peso sulla pavimentazione. Stabilito il carico ammissibile, la determinazione del PCN segue quella dell'ACN, ricavato in base all'aereo critico, permettendo di ottenerne il valore numerico.

– Codici di riferimento

Il parametro PCN è un codice di tipo alfanumerico suddiviso in cinque campi, i quali contengono altrettante informazioni sulla pavimentazione in esame. Il loro scopo è fornire una serie di parametri che riguardano il tipo di pavimentazione, la resistenza del sottofondo in relazione al valore del C.B.R. o di K, la pressione esercitata dagli pneumatici che può essere ammessa e la metodologia di valutazione che è stata utilizzata. Il valore numerico viene ottenuto attraverso la valutazione della resistenza utilizzando una scala di riferimento che parte da **1**, che indica una pavimentazione poco resistente (*weak pavement*), a **130**, che indica una ottima sovrastruttura (*very strong pavement*).

Le altre indicazioni vengono quindi riportate sulla base delle seguenti definizioni:

Tabella 4 – Codice pavimentazione per l'indice PCN

Tipo di pavimentazione	Codice
Rigida	R
Flessibile	F

Tabella 5 – Codice sottofondo per l'indice PCN

Resistenza del sottofondo	Codice
Alta resistenza	A
Caratterizzata da $K=150\text{MN/m}^3$ e rappresentativa di tutti i valori A di K superiori a 120 MN/m^3 per pavimentazioni rigide - e da $\text{CBR} = 15$ e rappresentativa di tutti i valori di CBR superiori a 13 per pavimentazioni flessibili.	
Media resistenza	B
Caratterizzata da $K= 80 \text{MN/m}^3$ e rappresentativa di tutti i valori di K compresi tra 60 e 120 MN/m^3 per pavimentazioni rigide - e da $\text{CBR} = 10$ e rappresentativa di tutti i valori di CBR compresi tra 8 e 13 per pavimentazioni flessibili.	
Bassa resistenza	C
Caratterizzata da $K=40 \text{MN/m}^3$ e rappresentativa di tutti i valori di K compresi tra 25 e 60 MN/m^3 per pavimentazioni rigide - e da $\text{CBR} = 6$ e rappresentativa di tutti i valori di CBR compresi tra 4 e 8 per pavimentazioni flessibili.	
Bassissima resistenza	D
Caratterizzata da $K = 20 \text{MN/m}^3$ e rappresentativa di tutti i valori di K inferiori a 25 MN/m^3 per pavimentazioni rigide - e da $\text{CBR} = 3$ e rappresentativa di tutti i valori di CBR inferiori a 4 per pavimentazioni flessibili.	

Tabella 6 – Codice pressione ammissibile per l'indice PCN

Categoria della pressione massima ammissibile per pneumatico		Codice
Alta	nessun limite di pressione	W
Media	pressione limitata a <i>1,50 MPa</i>	X
Bassa	pressione limitata a <i>1,00 MPa</i>	Y
Bassissima	pressione limitata a <i>0,50 MPa</i>	Z

Tabella 7 – Identificativo del metodo di valutazione utilizzato per la valutazione dell'indice numerico PCN

Metodo di valutazione	Codice
Valutazione tecnica	T
Rappresenta uno studio specifico circa le caratteristiche della pavimentazione e un'applicazione della tecnologia sul comportamento della stessa.	
Esperienza di impiego degli aeromobili	U
Rappresenta la conoscenza acquisita sul comportamento di una pavimentazione che sostenga efficacemente un particolare tipo di aeromobile cui corrisponde una massa definita.	

La portanza delle superfici non pavimentate di norma non è classificata. Il materiale di base, il suo grado di compattazione, la qualità del sottofondo e le caratteristiche di drenaggio sono esempi di fattori che possono essere causa di significativa variazione della portanza nell'arco della giornata.

Inoltre, dopo piogge prolungate, una superficie non pavimentata può diventare tale da costituire serio rischio per le operazioni degli aeromobili. In tali condizioni la superficie deve essere tenuta sotto costante controllo da parte del gestore in modo da consentire all'ENAC di prendere i necessari provvedimenti di restrizioni di traffico o di chiusura dell'aeroporto.

6.2.4. La condizione superficiale – PCI

Il sistema per la valutazione degli ammaloramenti superficiali più utilizzato è quello descritto nella norma ASTM D5340-11 Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys. La norma indica la procedura da effettuare per determinare la condizione di una sovrastruttura

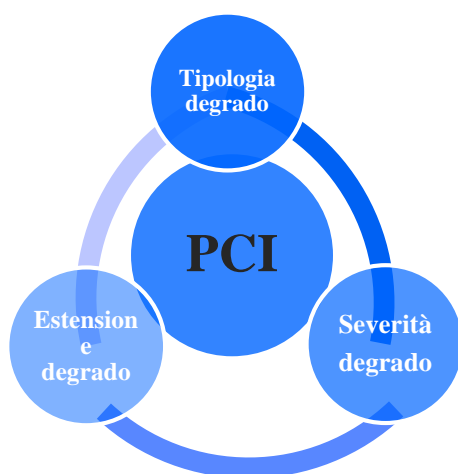


Immagine 26 – Componenti di determinazione del PCI

aeroportuale, sia flessibile, realizzata in conglomerato bituminoso, sia rigida, realizzata in calcestruzzo armato; il livello qualitativo della pavimentazione viene indicato attraverso l'indice P.C.I. (Pavement Condition Index), il quale attraverso un numero progressivo compreso tra 0 e 100, fornisce indicazioni sullo stato della pavimentazione. La valutazione si basa sostanzialmente sulla valutazione visiva dell'addetto riguardo le condizioni della sovrastruttura; il procedimento di ponderazione consente in secondo luogo di definire l'indice P.C.I..

La fase iniziale consiste nella schematizzazione della sovrastruttura interessata attraverso la suddivisione in **rami**; la scelta dei settori viene effettuata in base alla funzionalità dell'area che può essere stabilita a seconda di parametri quali velocità di transito degli aeromobili, della tipologia di pavimentazione e altre valutazioni. I settori sono generalmente divisi tra runways, taxiways e aprons. Ogni settore viene poi suddiviso in **sezioni**; la suddivisione viene effettuata in considerazione della tipologia di pavimentazione esistente, tipologia di traffico (zona di toccata, di attesa, di transito, etc.). A loro volta le sezioni vengono frazionate in **unità di monitoraggio**. Il metodo del P.C.I. viene utilizzato per definire l'indice di ogni rispettiva unità semplice. Per definire l'indice relativo ad ogni sezione si applica un algoritmo illustrato nella normativa che consente di ottenere una media ponderata dell'indice.

La procedura, va precisato, non è un metodo da utilizzare per la determinazione analitica delle caratteristiche di portanza della pavimentazione, o per la valutazione della regolarità superficiale e le proprietà di aderenza della superficie analizzata; per il calcolo di questi parametri è necessario ricorrere a indagini specifiche. La valutazione dell'indice P.C.I. può comunque essere resa tanto più accurata se sono disponibili dati integrativi quali, ad esempio, indagini deflettometriche oppure indagini per la determinazione della regolarità superficiale. Determinato l'indice P.C.I. per tutta la sovrastruttura, il monitoraggio continuo della pavimentazione consente di valutare il decadimento della sovrastruttura e la calibrazione di un modello previsionale tale da permettere la programmazione degli interventi preventivi di riabilitazione.

Per la corretta valutazione deve essere valutato un numero n di unità semplici che non deve essere inferiore al numero ricavato dalla relazione:

$$n = \frac{N \cdot s^2}{\left[\left(\frac{e^2}{4} \right) \cdot (N - 1) + s^2 \right]}$$

Dove:

e = errore accettabile (si assume ± 5 P.C.I.);

N = numero di unità semplici della sezione;

s = deviazione standard calcolata con la formula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{(n - 1)}}$$

PCI_f = media aritmetica di tutti le unità semplici della sezione.

L'indice P.C.I. relativo alla sezione oggetto di studio (PCI_s) si ottiene dall'applicazione della formula della media ponderata, calcolata tra tutte le unità semplici analizzate, di seguito indicata:

$$PCI_s = \frac{\sum_1^n (PCI_{ri} \cdot A_{ri})}{\sum_1^n A_{ri}}$$

Dove:

PCI_{ri} = indice PCI dell'unità semplice random i -esima;

A_{ri} = Area dell'unità semplice random i -esima;

n = numero totale delle unità random.



Immagine 27 – Scala di riferimento indice PCI

6.3. Modelli di decadimento

Uno dei punti cruciali di un APMS è rappresentato dalla capacità del sistema stesso di conoscere e prevedere l'evoluzione del degrado della pavimentazione. E' necessario per questo disporre di una banca dati con un quantitativo di dati sufficiente a garantire un certa attendibilità dei modelli previsionali adottati.

La previsione del degrado di una pavimentazione consente, all'interno dell'arco temporale preso in considerazione, di identificare le sezioni che necessitano di interventi di ordinaria manutenzione oppure una manutenzione straordinaria che richieda la riabilitazione o la ricostruzione. Una volta a conoscenza dell'evoluzione del livello prestazionale atteso negli anni e prendendo in considerazione i costi, tecniche di prioritizzazione e strategie del gestore, è possibile individuare un budget di spesa [40]. Inoltre, dai dati storici e dai modelli previsionali adottati è possibile effettuare previsioni a seconda della strategia operativa che intende attuare il gestore, ossia porre in atto interventi manutentivi localizzati, interventi manutentivi consistenti o una più ampia riqualifica della pavimentazione [18].

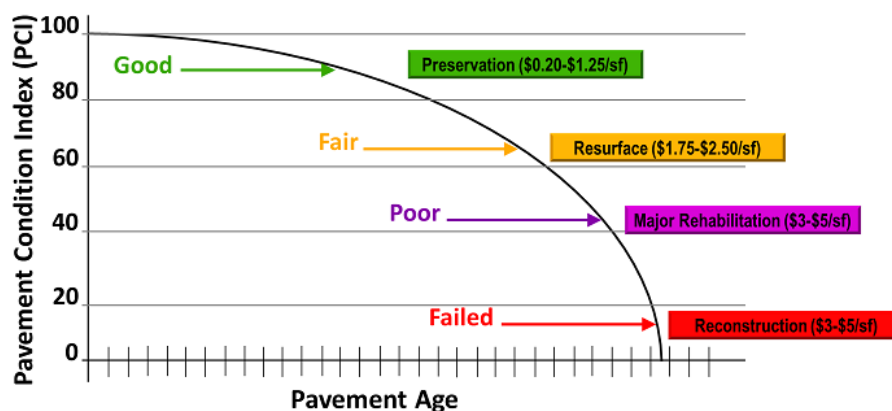


Immagine 28 - Esempio costi manutentivi in funzione del decadimento della pavimentazione

Per lo sviluppo di un PMS durante gli anni sono stati sviluppati numerosi modelli di decadimento associati a indicatori di regolarità (p.es. IRI), all'aderenza disponibile (Skid Number SN oppure Coefficiente di attrito μ), alla capacità portante (determinazione dell'indice PCN o indicatori ricavati dall'analisi diretta dei valori di deflessione, p.es. valore deflessione massima, area del bacino di deflessione) e a dissesti superficiali (in particolare PCI – Pavement Condition Index). Se correttamente sviluppati, possono essere molto validi anche indicatori ottenuti dalla combinazione di diversi indicatori.

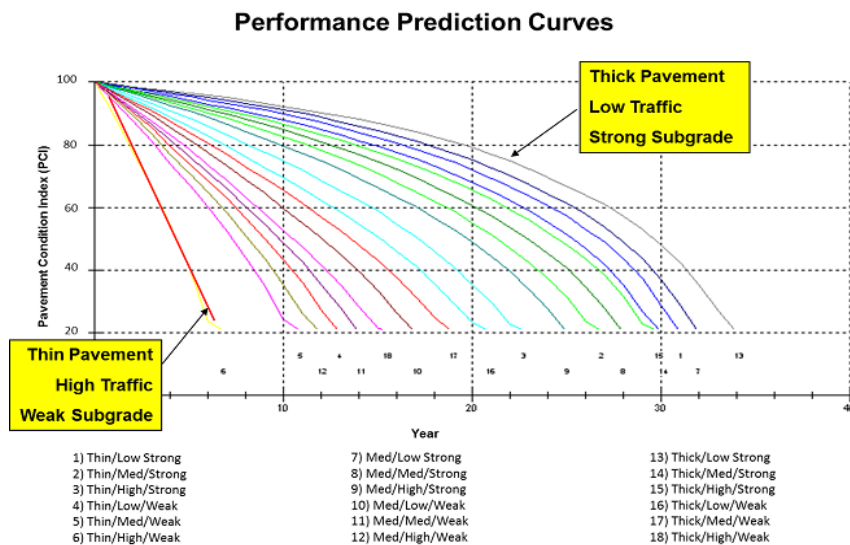


Immagine 29 – Indicazione del differente decadimento in funzione di spessore, traffico e sottofondo

Al livello di rete, i modelli previsionali sono principalmente utilizzati per previsioni del livello prestazionale nel medio e lungo termine, definizione di budget, programma di monitoraggio e pianificazione interventi manutentivi. Al livello di progetto i modelli previsionali sono utili alla scelta dello specifico intervento manutentivo in relazioni alle condizioni di traffico e climatiche previste. L'utilizzo dei modelli previsionali costituiscono il componente più importante nel caso di analisi del tipo lyfe-cycle cost (LCC) mirata alla comparazione delle diverse strategie manutentive.

Per la costruzione di un modello previsionale è possibile ricorrere a diversi modelli matematici quali:

- Straight-line extrapolation;
- Regression (empirical);
- Mechanistic empirical;
- Polynomial constrained least square;
- S-shaped curve;

- Probability distribution;
- Markovian [4].

6.4. Catalogo dissesti

La redazione del catalogo dei dissesti consente all'operatore di determinare lo stato delle sovrastrutture attraverso l'analisi quantitativa e qualitativa di un ammaloramento riscontrato sulla pavimentazione. In ambito aeroportuale costituiscono valido supporto agli addetti la norma ASTM D5340-12 "Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys" [41] e l'AC 150/5380-6B [42].

6.5. Tecniche di ripristino

Le tecniche di ripristino costituiscono elemento chiave per la risoluzione dei dissesti rilevati e per l'applicazione del programma di interventi. La definizione delle tecniche dev'essere specificatamente determinata al caso trattato.

6.6. Pianificazione degli interventi

La pianificazione degli interventi di manutenzione e ripristino delle strutture di volo mira a definire in programma pluriennale all'interno del quale saranno individuate le aree interessate da interventi manutentivi, la tipologia e il risultato atteso, il tutto in funzione delle risorse finanziarie disponibili.

Tuttavia, risulta di difficile applicazione poter applicare appieno un programma manutentivo per motivi legati a:

- Restrizioni economiche dovute alla mancata assegnazione del budget totale necessario;
- Necessità di garantire l'operatività aeroportuale e quindi limitare al massimo le interferenze con il traffico di aeromobili, specialmente in aree critiche quali piste e vie di rullaggio;
- Difficoltà esecutive dovute ad esigenze operative da parte di altri operatori all'interno dell'airside aeroportuale (p.es. manutenzione impianti);
- Dotazione di risorse e mezzi delle aziende locali chiamate ad intervenire.

Pertanto, i criteri di definizione utilizzabili si distinguono in due tipologie:

- Priorizzazione;
- Ottimizzazione.

6.6.1.Priorizzazione

La priorizzazione degli interventi può essere definita secondo due differenti archi temporali, corrispondenti al breve termine e lungo termine.

6.6.2.Ottimizzazione

La strategia dell'ottimizzazione è quella di individuare, all'interno di un predefinito arco di riferimento, la soluzione con il più alto rapporto benefici/costi attraverso un'analisi razionale del comportamento della pavimentazione.

L'analisi delle diverse strategie manutentive e dei diversi scenari di budget, realizzata attraverso l'applicazione di algoritmi, varia in funzione delle condizioni imposte dall'Autorità Aeroportuale la quale può desiderare:

- Il raggiungimento ed il mantenimento di determinate condizioni delle pavimentazioni della rete (massimizzazione della condizione) durante tutto il periodo di analisi secondo il criterio del PCI critico (PCI al di sotto del quale nessuna sezione deve arrivare); in questo caso non è garantito l'utilizzo ottimizzato del budget stanziato per la manutenzione.
- L'individuazione delle strategie manutentive che consentono l'utilizzo di tutto il budget (massimizzazione del budget) ma non sempre riescono a mantenere o a riportare la condizione di tutte le sezioni della rete al di sopra dei valori di accettabilità (scelta degli interventi in funzione delle risorse finanziarie disponibili ogni anno; il budget annuale stanziato infatti potrebbe essere: fisso per tutto il periodo di analisi, variabile di anno in anno, etc....).
- La massimizzazione del rapporto benefici - costi; in questo caso il beneficio è il miglioramento della condizione della pavimentazione ed il costo è quello associato alla strategia manutentiva considerata nel periodo di analisi). Grazie ai risultati scaturiti dall'analisi tecnico - economica svolta dal software adottato come strumento di supporto alle decisioni, il Post Holder Manutenzione può richiedere o meno una rivalutazione del budget annuale stanziato per la manutenzione delle infrastrutture di volo. Tale richiesta è supportata dalle analisi che dimostrano quali siano le effettive necessità della rete per lo specifico anno.

Poiché il raggiungimento di determinati standard prestazionali non può avvenire prescindere dalle risorse disponibili è opportuno che i risultati derivanti dall'analisi tecnico - economica siano noti non solo al responsabile della Manutenzione bensì a tutti coloro ai quali vengono attribuite funzioni decisionali, di pianificazione e di spesa. L'individuazione di tali soggetti deve avvenire in funzione dell'organigramma adottato dalla società di gestione [11].

7. Caso studio: l'Aeroporto “Costa Smeralda” di Olbia

7.1. L'Aeroporto “Costa Smeralda” di Olbia.

L'infrastruttura aeroportuale è stata realizzata nel 1976 e attualmente occupa un sedime di circa 192 ha. Interventi di potenziamento sono stati realizzati negli anni 2000, quali ampliamento aerostazione e capacità piazzale di sosta Aviazione Commerciale, rifacimento manto di usura strutture di volo, realizzazione terminal e piazzale Aviazione Generale.

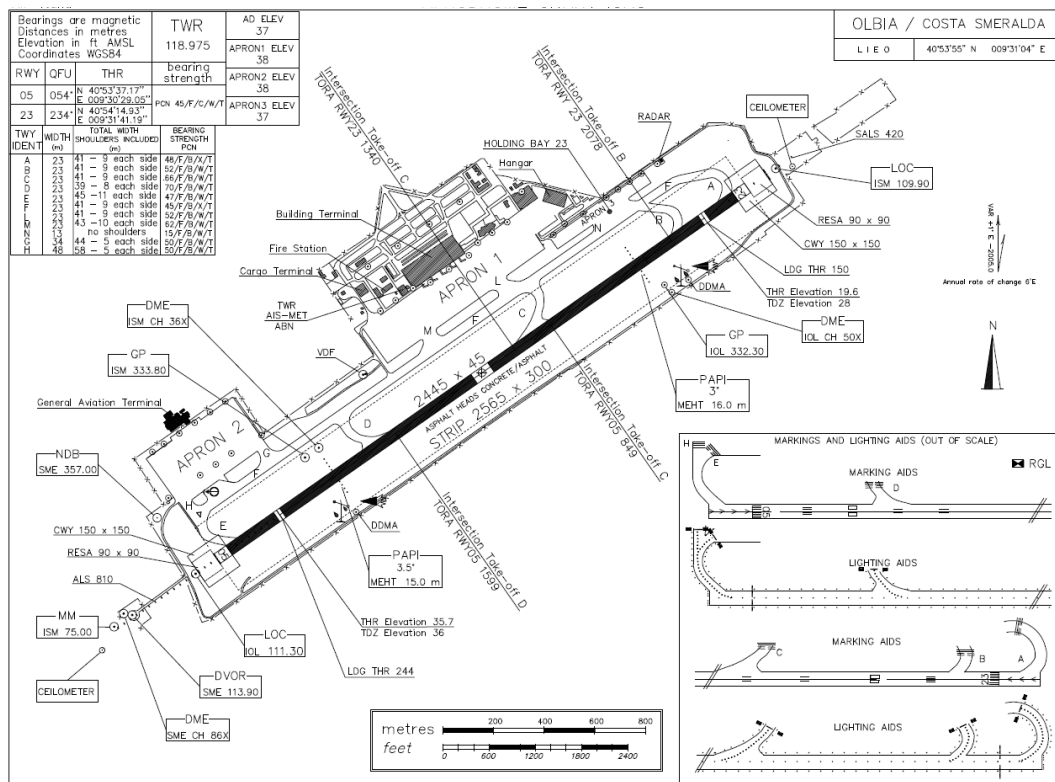


Immagine 30 – Aerodrome Chart ICAO Aeroporto Olbia “Costa Smeralda” (2013)

Allo stato attuale l'airside è costituita da una pista di volo, caratterizzata da una lunghezza (TORA – Take-Off Run Available) di 2445 metri e una larghezza di 45 metri, una via di rullaggio principale e 10 raccordi di connessione (di cui 5 Taxiway di uscita pista). La superficie destinata alla pista di volo è pari a 110.025 m², quella per via di rullaggio e raccordi è di circa 100.000 m². Per la sosta degli aeromobili sono disponibili tre piazzali, realizzati secondo diversi lotti con superficie complessiva pari a 247.000 m². Dal punto di vista realizzativo sono state riscontrate tre diverse tecniche costruttive: pavimentazione flessibile, semi-rigida e rigida con suddivisione indicata in tabella successiva.

Tabella 8 – Tabella riepilogativa dimensioni geometriche dello scalo in esame

SUMMARY			
- AREA TOTALE	457 477,87	m²	
Tipologia costruttiva		% sul totale	
- Pav. Rigida	208 091,89	m ²	45,5%
- Pav. Semirigida	6 487,50	m ²	1,4%
- Pav. Flessibile	242 879,48	m ²	53,1%
Destinazione d'uso		% sul totale	
- Runway/Pista di volo	110 025,00	m ²	24%
- Via di rullaggio/Raccordi	100 209,97	m ²	22%
- Aprons	247 242,90	m ²	54%
Vita media	28,4 anni		

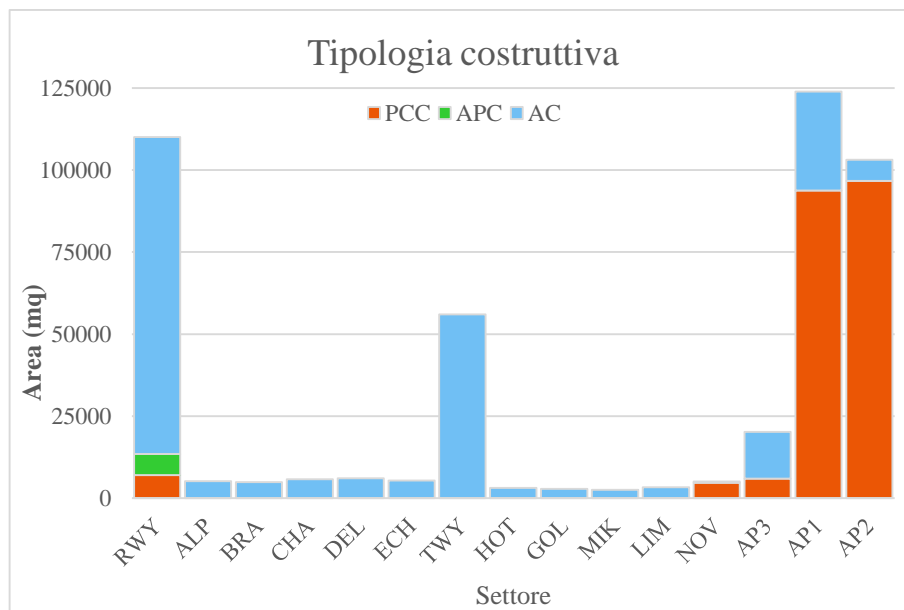


Immagine 31 – Indicazione delle tipologie costruttive suddivise per settori

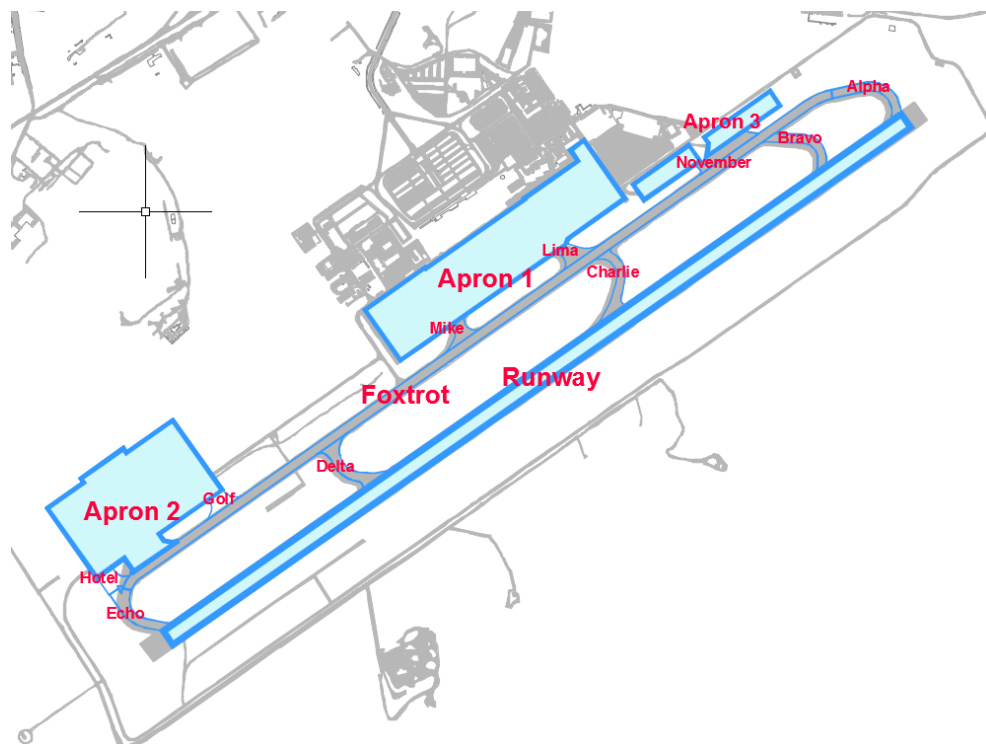


Immagine 32 – Layout settori

Tabella 9 – Suddivisione network in settori e relative dimensioni geometriche per tipologia costruttiva

N.	Branch ID	Pav. Rigida PCC (m ²)	Pav. Semirigida APC (m ²)	Pav. Flessibile AC (m ²)	SUB-TOTALE
1	RWY	7 013	6 488	96 525	110 025
2	ALP	0	0	5 177	5 177
3	BRA	0	0	4 845	4 864
4	CHA	0	0	5 735	5 735
5	DEL	0	0	6 080	6 080
6	ECH	0	0	5 425	5 425
7	TWY	0	0	55 974	55 974
8	HOT	0	0	3 171	3 171
9	GOL	0	0	2 805	2 805
10	MIK	0	0	2 556	2 556
11	LIM	0	0	3 305	3 305
12	NOV	4 650	0	469	5 119
13	AP3	5 938	0	14 308	20 246
14	AP1	93 826	0	30 054	123 880
15	AP2	96 666	0	6 451	103 117
		TOTALE PAV. RIGIDA	TOTALE PAV. SEMIRIGIDA	TOTALE PAV. FLESSIBILE	TOTALE
		208 092 m²	6 488 m²	242 879 m²	457 478 m²

7.2. Acquisizione e valutazione dati di traffico.

L'acquisizione dei dati di traffico permette di valutare a quale frequenza di carico viene sottoposta la pavimentazione, consente di definire quale tipologia di aeromobili interessano l'air side e quali sono le aree che sono maggiormente interessate dal passaggio degli aeromobili e quindi a degrado più rapido. I dati si riferiscono all'intervallo 2004-2014 e mettono in evidenza un andamento crescente dei movimenti aerei di Aviazione Commerciale ma che comunque nella seconda metà dell'arco temporale in esame ha risentito di una certa variabilità relativamente alla crisi economica che indubbiamente ha interessato anche il settore aeroportuale.

Su base decennale i dati indicano una crescita media del 2,52% per quanto riguarda il traffico di Aviazione Commerciale, ovvero voli di linea e charter, e una crescita media del 4,92% per quanto riguarda i voli di Aviazione Generale, ovvero relativi a voli privati, aerotaxi, voli militari, etc...

Tabella 10 – Analisi dati di traffico anni 2004-2014

Anno	Movimenti AC	Movimenti AG	Movimenti AC+AG	Tonnellaggio TOT
2004	16 995	11 968	28 963	1 146 638
2005	17 780	13 929	31 709	1 197 743
2006	19 175	13 765	32 940	1 289 904
2007	19 853	14 160	34 013	1 324 998
2008	18 323	14 097	32 420	1 312 676
2009	17 072	12 925	29 997	1 238 672
2010	16 883	12 625	29 508	1 221 909
2011	18 297	12 049	30 346	1 331 994
2012	17 566	10 355	27 921	1 301 424
2013	17 866	9 708	27 574	1 326 909
2014	19 115	9 432	28 547	1 419 645
Trend 2004-2014	+12,47%	-21,19%	-1,44%	+23,81%
Trend 2010-2014	+13,22%	-25,29%	-3,26%	+16,18%

I dati riportati nelle tabelle di seguito riportate contribuiscono alla valutazione della crescita annua di movimenti aerei. L'analisi dei dati e delle previsioni di sviluppo nel breve-medio termine conferma il tasso di crescita relativo all'intervallo considerato. Per quanto riguarda il periodo a medio-lungo termine i lavori in programma relativi al progetto di allungamento della pista di volo potrebbero determinare una ulteriore crescita del volume di movimenti annui e un ulteriore incremento della tonnellaggio medio degli aeromobili in partenza. In seguito sono rappresentati i volumi di traffico rispettivamente di Aviazione Commerciale e di Aviazione Generale.

In seguito viene riportata lo spettro di traffico, relativamente all'anno 2014, suddiviso secondo la classificazione indicata nell'*Annex 14* pubblicato dall' ICAO; la classificazione viene effettuata secondo 6 distinte categorie in funzione dell'apertura alare dell'aeromobile. Sebbene la suddivisione

secondo classi di peso sia maggiormente indicata nell’ambito della gestione delle pavimentazioni aeroportuali, la classificazione convenzionalmente adottata riflette quella realizzabile secondo la configurazione del carrello o la valutazione della massa.

L’Aeroporto di Olbia ha la particolarità di avere una percentuale del superiore al 35% costituita da traffico di Aviazione Generale, il quale comporta eterogeneità in termini di massa degli aeromobili. La componente principale è rappresentata da aeromobili di classe C (Airbus 319-320, Boeing 737 e MD82) mentre la componente di classe A e B è dovuta sostanzialmente al traffico di Aviazione Generale (Cessna, Canadair CL, etc.). E’ presente anche un ridotto numero di movimenti di aeromobili classe D ed E, mentre non sono stati registrati ad oggi movimenti classe F.

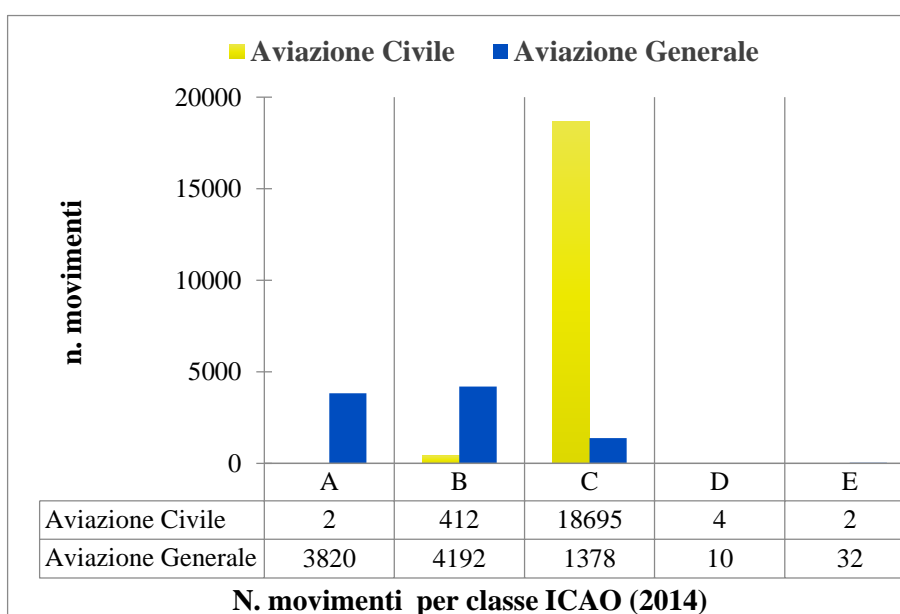


Immagine 33 – Ripartizione traffico secondo classi ICAO

7.2.1. Analisi della distribuzione mensile del traffico.

La distribuzione mensile del traffico a livello nazionale presenta un andamento particolarmente differente per il caso dell’Aeroporto di Olbia. Infatti, l’analisi del traffico 2013 [43] della differenza tra il mese con il maggior numero di passeggeri e il mese con minor numero di passeggeri mette in evidenza la peculiarità dello scalo indicando un rapporto P_{\max}/P_{\min} pari a 12,5 (rapporto tra passeggeri mese di agosto e mese di mese di febbraio), decisamente maggiore rispetto a tutti gli altri aeroporti compresi tra i primi 30 per numero di passeggeri e volume di traffico.

Tabella 11 – Analisi stagionalità dei primi 30 aeroporti nazionali per numero di passeggeri

N.	Aeroporto	Totale Pax (2013)	Picco massimo pax/mese P _{max}	Picco minimo pax/mese P _{min}	Rapporto P _{max} /P _{min}
1	ROMA FIUMICINO	35939917	3746141	2128690	1,8
2	MILANO	17781144	1823815	1153518	1,6
3	MILANO LINATE	8983694	927115	603410	1,5
4	BERGAMO	8882611	945965	528710	1,8
5	VENEZIA	8327899	940803	461878	2,0
6	CATANIA	6307473	697361	324340	2,2
7	BOLOGNA	6127221	631145	345512	1,8
8	NAPOLI	5400080	597028	281661	2,1
9	ROMA CIAMPINO	4744716	464050	263923	1,8
10	PISA	4471085	552800	208848	2,6
11	PALERMO	4335668	501978	218424	2,3
12	BARI	3591368	375682	217760	1,7
13	CAGLIARI	3577560	472743	166811	2,8
14	TORINO	3154330	284131	238103	1,2
15	VERONA	2685702	365361	117533	3,1
16	LAMEZIA TERME	2172181	268838	113422	2,4
17	TREVISO	2156115	224505	130473	1,7
18	BRINDISI	1989130	222620	116919	1,9
19	OLBIA	1978022	452326	36137	12,5
20	FIRENZE	1963744	212450	97186	2,2
21	TRAPANI	1877827	237228	74732	3,2
22	ALGHERO	1549443	223984	61087	3,7
23	GENOVA	1294370	143265	72481	2,0
24	TRIESTE	849086	94419	45605	2,1
25	RIMINI	558335	87841	15520	5,7
26	REGGIO	557668	60626	33719	1,8
27	PESCARA	542963	61063	29213	2,1
28	ANCONA	498229	62127	18157	3,4
29	CUNEO	286949	36863	12824	2,9
30	PERUGIA	214025	35085	7607	4,6

L'Aeroporto "Costa Smeralda" di Olbia presenta, quindi, delle caratteristiche dell'andamento del traffico del quale non è possibile prescindere per la strutturazione e implementazione di un efficiente APMS; l'analisi storica della distribuzione mensile del traffico di aeromobili evidenzia una forte concentrazione di movimenti nei mesi estivi.

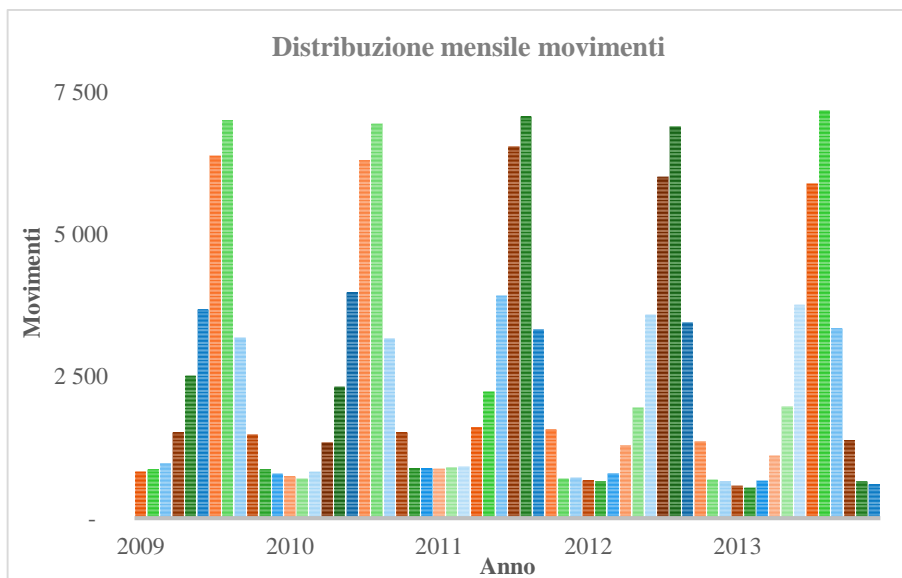


Immagine 34 – Istogramma di andamento mensile dei movimenti

La gestione ottimale indica la necessità di garantire la funzionalità dello scalo durante la stagione di picco. Di fatto è possibile osservare una maggiore concentrazione nei mesi Maggio-Ottobre con l'85,8% dei movimenti totali (dati traffico 2014). All'interno dello stesso periodo è possibile individuare mesi "spalla", ossia mesi con traffico sostenuto quali Maggio e Ottobre (12,4% del totale) e stagione massimo traffico, corrispondente ai mesi compresi tra Giugno e Settembre (73,4% del totale), mentre, per contro, il periodo di basso traffico si registra nei mesi Novembre-Aprile (14,2% del totale).

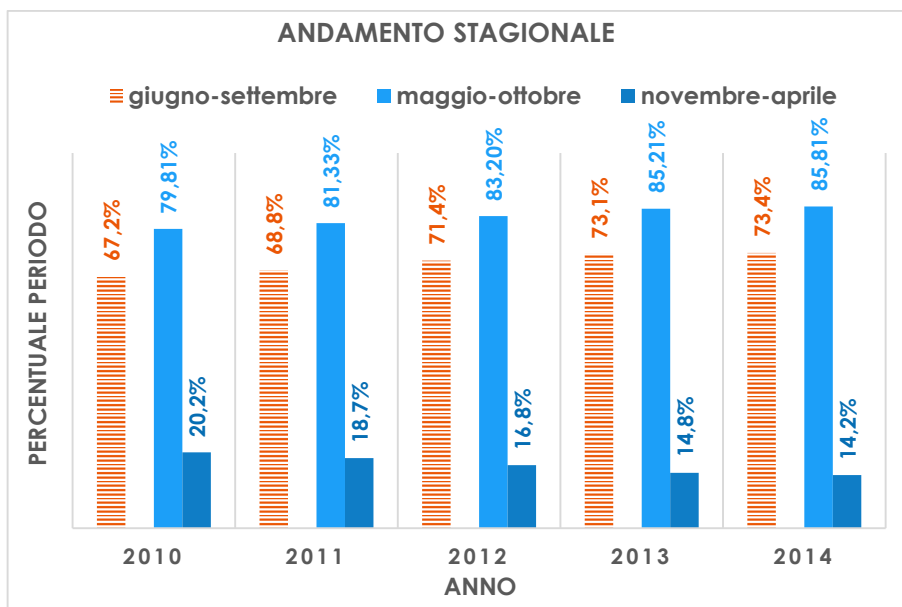


Immagine 35 – Confronto andamento stagionale del traffico

La valutazione dei dati ha inoltre messo in evidenza che una componente importante di movimenti è costituita da traffico di Aviazione Generale, circa 40% del complessivo su base annua; la particolarità di questa tipologia di traffico costituisce un elemento ad alta variabilità in quanto, a differenza del traffico di linea, ossia commerciale, il flusso può ritenersi distribuito, con le dovute proporzioni, nell'arco dell'intera giornata. Questa condizione, prevalentemente nel periodo estivo, si ripercuote sull'attività di monitoraggio e manutenzione della sovrastruttura in quanto dette operazioni possono interferire sul normale traffico a terra degli aeromobili fino a determinare la chiusura temporanea dello scalo.

Appare ancora più evidente quanto sia importante garantire che le sovrastrutture mantengano un elevato livello prestazionale anche nei periodi di maggior utilizzo delle stesse; questo obiettivo è può essere raggiunto attraverso una filosofia aziendale che tenda sempre più all'attuazione di misure preventive messe in opera al fine di evitare, per quanto possibile, ogni possibile degrado repentino della pavimentazione. Allo stesso tempo è fondamentale mettere in atto un attento monitoraggio e individuare le tecniche d'intervento più opportune col fine di poter intervenire immediatamente e riducendo al minimo e interferenze con il traffico degli aeromobili.

L'alta stagionalità dello scalo porta alla necessità di garantire un alto livello di efficienza delle sovrastrutture anche durante i periodi di traffico intenso.

7.3. Analisi climatica

L'implementazione di un APMS deve tenere conto anche delle specifiche condizioni climatiche caratteristiche del sito in esame. Le stesse, infatti possono incidere particolarmente sulla vita di una pavimentazione. Inoltre, l'esecuzione di interventi manutentivi dev'essere svolta in condizioni climatiche ottimali. L'influenza delle condizioni climatiche è ancor più rilevante nel caso di lavorazioni che prevedano la realizzazione degli strati di conglomerato bituminoso nel caso di pavimentazione flessibile o semi-rigida. In questo caso, infatti, le fasi di preparazione, stesa e compattazione necessitano di condizioni climatiche ottimali per la perfetta del lavoro.

I fattori climatici che influiscono maggiormente sui lavori pertinenti le sovrastrutture sono la temperatura dell'aria, velocità del vento e la presenza di radiazione solare. Da questi fattori infatti dipende la temperatura della pavimentazione. Per quanto riguarda i lavori da eseguire sono ritenuti fondamentali la temperatura del conglomerato bituminoso e lo spessore della stesa da eseguire. Ai fini dell'implementazione di un APMS sono stati ritenuti utili dati climatici quali la temperatura, le precipitazioni e il vento. Nella tabella successiva sono riassunti i dati climatici relativi all'area di Olbia.

Tabella 12 – Dati climatici Olbia “Costa Smeralda”

Mese	T_min (°C)	T_max (°C)	T_media (°C)	Pioggia (mm)	Umidità (%media)
Gennaio	5	15	10	47	70%
Febbraio	6	15	10,5	73	69%
Marzo	6	17	11,5	63	65%
Aprile	8	18	13	56	66%
Maggio	11	23	17	37	66%
Giugno	15	28	21,5	18	58%
Luglio	18	31	24,5	6	60%
Agosto	19	31	25	28	63%
Settembre	16	27	21,5	41	67%
Ottobre	12	22	17	58	65%
Novembre	8	18	13	56	72%
Dicembre	6	15	10,5	98	72%

– **Dati di temperatura**

I dati di temperatura mostrano un andamento prettamente mediterraneo caratterizzato dal picco di massime temperature nei mesi di Luglio e Agosto e minime registrate nei mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo.

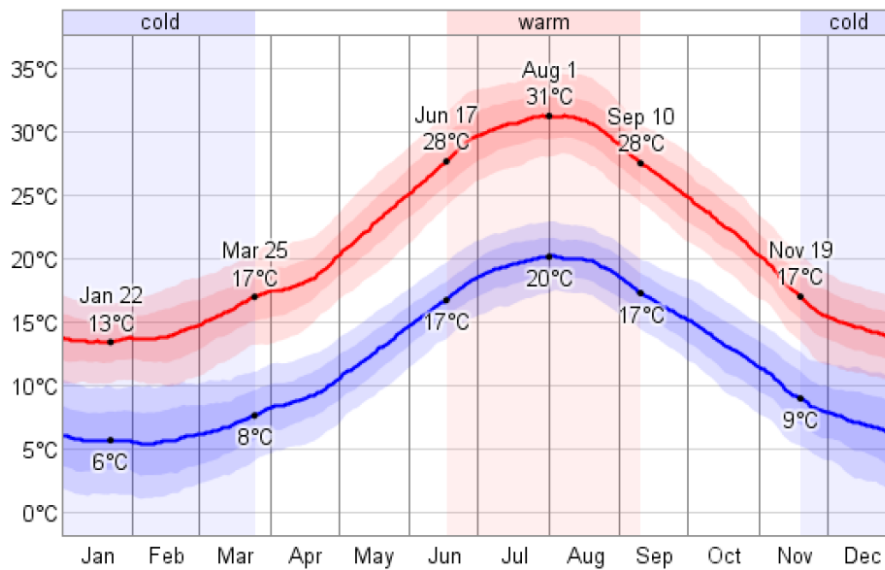


Immagine 36 - Andamento medie giornaliere (fonte weatherspark.com)

Il grafico delle medie mensili evidenzia un’escursione delle temperature registrate minima nel periodo invernale con la variazione delle temperature di circa 9°C mentre nel periodo estivo l’escursione rilevata è di circa 13°C.

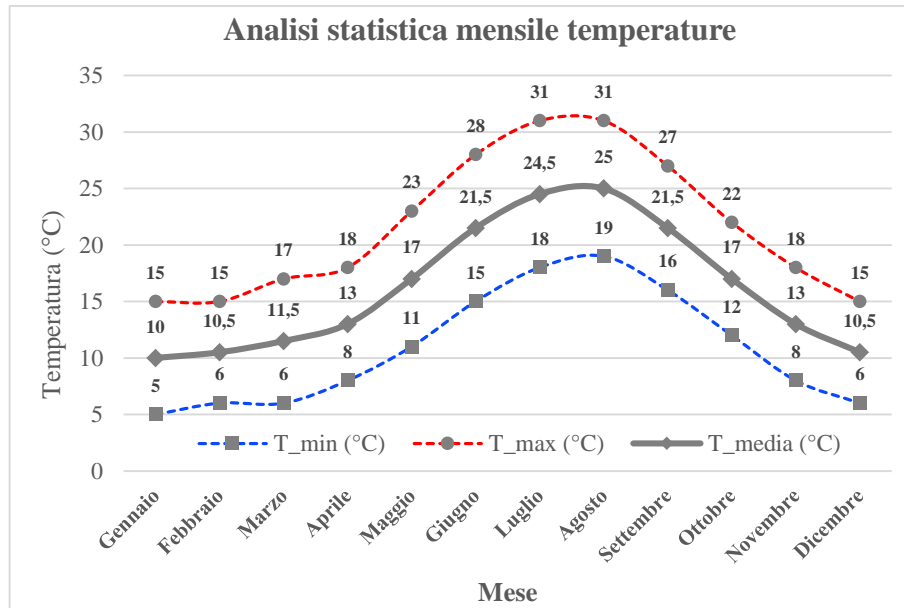


Immagine 37 – Statistica mensile delle temperature

– **Dati di precipitazione**

I dati di precipitazione indicano Dicembre quale mese di gran lunga con le maggiori precipitazioni seguito da Novembre, mentre il mese più siccitoso risulta essere Luglio seguito da Agosto.

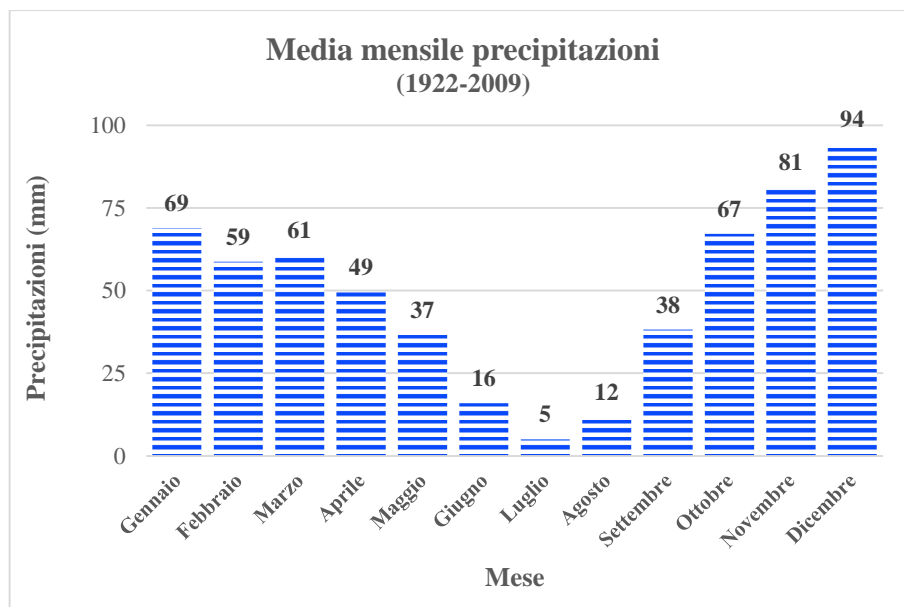


Immagine 38 - Precipitazioni medie mensili (fonte Distretto Idrografico Sardegna)

Stesso andamento oscillatorio può essere riscontrato per quanto riguarda la probabilità di precipitazioni durante la giornata, con probabilità di pioggia “moderata” prevalente tutto l’anno eccetto i mesi di Luglio e Agosto aventi maggiori probabilità di eventi temporaleschi.

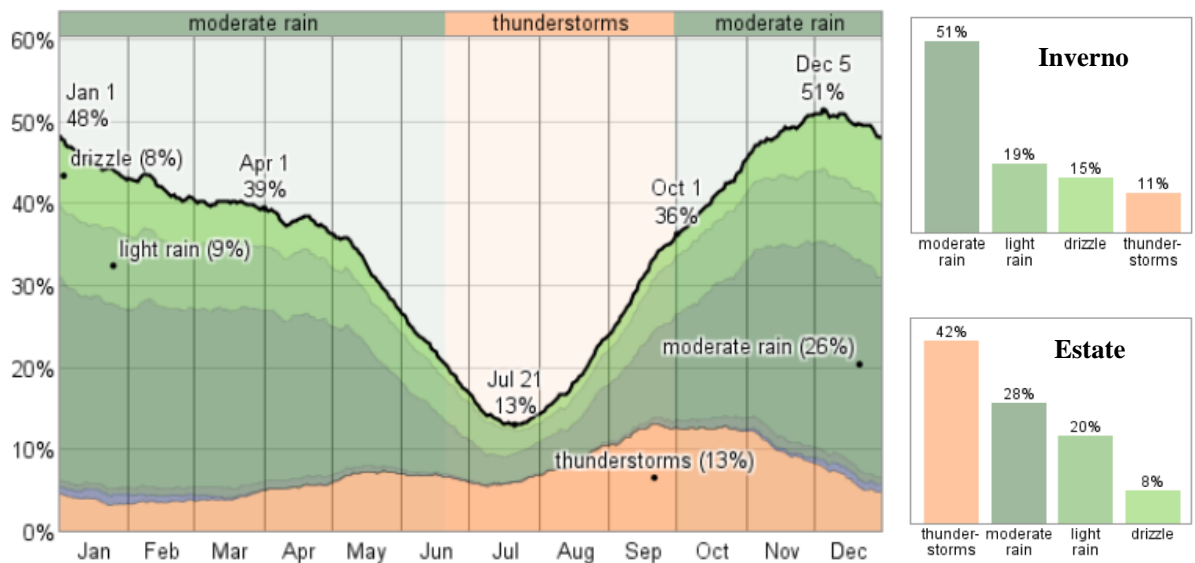


Immagine 39 - Probabilità e tipologia di precipitazioni nell'arco di una giornata (fonte weatherspark.com)

– **Vento**

L'area oggetto di studio risulta essere particolarmente esposta ai venti, con prevalenza di quelli provenienti dai quadranti O-SO (37%) e E-NE (21%) ai quali, come attendibile, corrisponde l'allineamento della pista di volo.

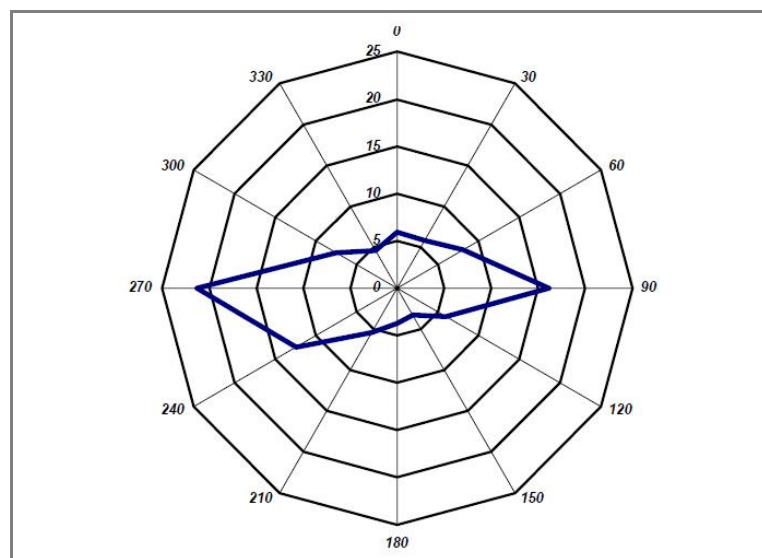


Immagine 40 - Distribuzione statistica venti

L'immagine successiva mostra la media giornaliera di massima velocità (linea verde), media (linea grigia) e minima velocità (linea rossa), con le fasce di percentile comprese tra il 25-esimo e il 75-esimo (banda interna) e tra il 10° e 90° (banda esterna).

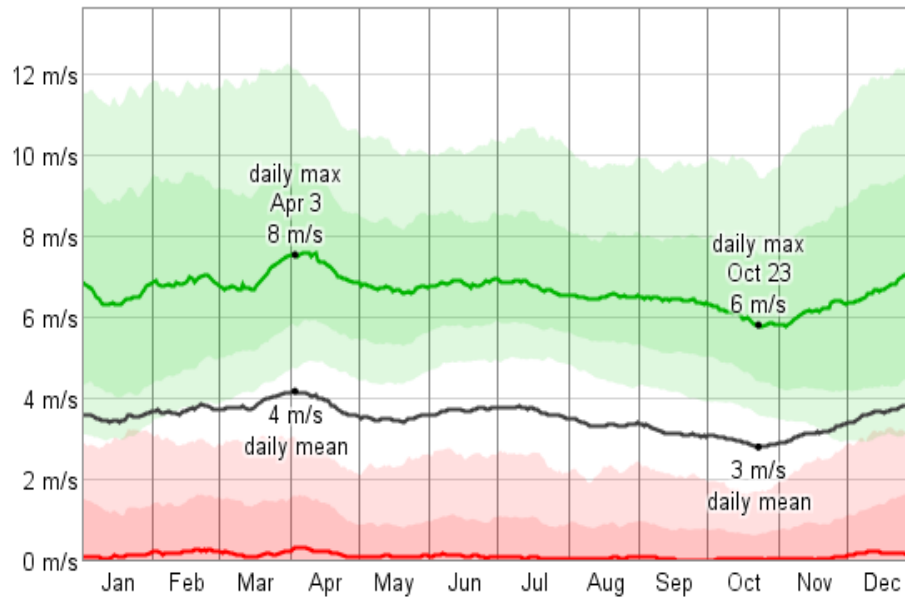


Immagine 41 - Velocità del vento (min, med, max) giornaliera (fonte weatherspark.com)

La distribuzione durante l'anno è variabile con venti prevalenti da Ovest (W) e Sud-Ovest (SW) nei mesi da Settembre ad Aprile mentre si ha la diminuzione degli stessi e aumento dei venti provenienti da Est.

7.4. Problematiche emerse

Nel lavoro di ricerca e trattazione del caso studio ha messo subito in evidenza una serie di difficoltà relative all'implementazione di un APMS. In particolare sono state riscontrate problematiche quali:

- Acquisizione specifiche di progetto relative a interventi manutentivi effettuati in passato;
- Limitata disponibilità di indagini prestazionali;
- Difficile o impossibile comparabilità delle indagini condotte nei differenti anni e, di conseguenza, difficoltà nella costruzione di un modello di decadimento per mancanza del necessario quantitativo di dati;
- Mancanza di attività di monitoraggio e tecniche di intervento univoche.

Negli ultimi anni la Società di gestione ha instaurato una crescente attività di monitoraggio e di manutenzione, talvolta predittiva e preventiva, col fine di ottimizzare al meglio le risorse disponibili e assicurare un adeguato livello prestazionale. Il grafico seguente indica i risultati relativi alla attività di monitoraggio e di manutenzione effettuata dal 2010 ad oggi, dal quale è possibile avvertire la crescente attività di tipo manutentivo messa in atto. Questo tipo di strategia ha come obiettivo

principale quello di preservare e allungare la vita utile della pavimentazione e, allo stesso tempo, garantire l’alto livello prestazionale e di regolarità richiesto dalle Autorità di controllo.

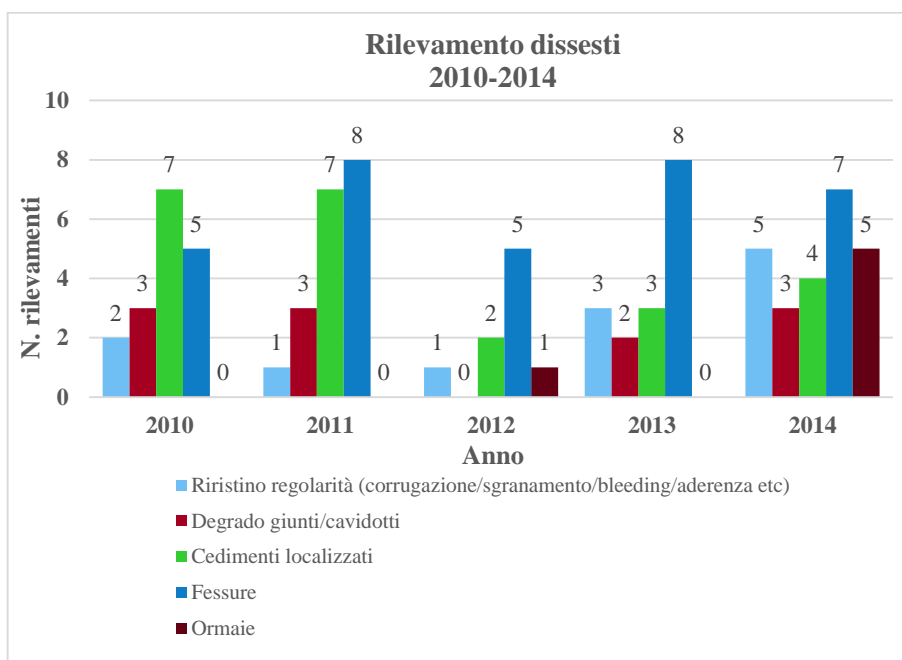


Immagine 42 – Rilevamento dissesti ultimi 5 anni

In aggiunta alle considerazioni specifiche del sito in esame, dall’analisi dei dati di traffico è stato possibile confermare il trend crescente relativo al peso medio degli aeromobili. Nello specifico caso dell’Aeroporto di Olbia è possibile evidenziare un aumento di 12 Tonnellate nell’arco temporale 2005-2014.

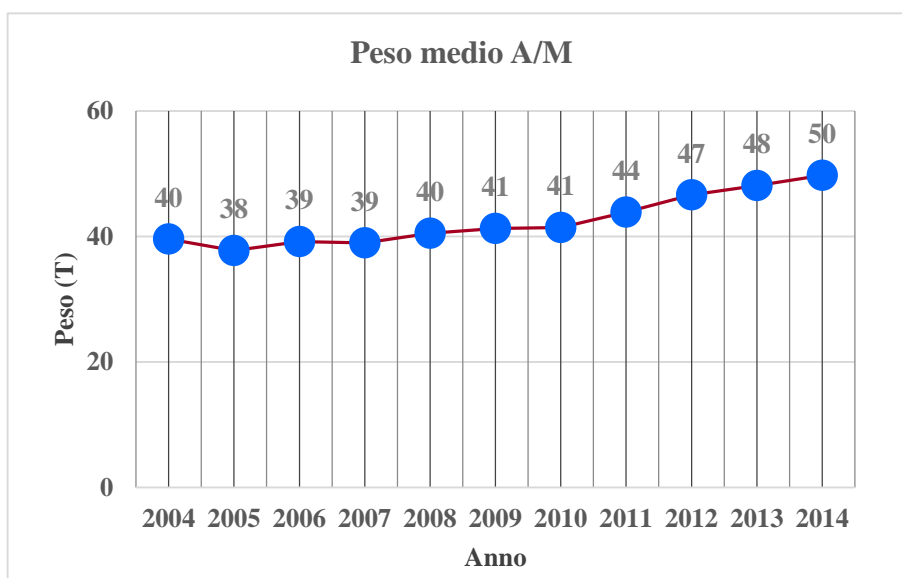


Immagine 43 – Trend peso medio aeromobile dello scalo in esame

Questa proiezione indica la necessità di istituire un catalogo delle tecniche di ripristino che tenga conto dell'esigenza di incrementare la capacità portante della pavimentazione in caso di interventi di riqualifica in quanto, variato lo spettro di traffico e le relative sollecitazioni, a parità di caratteristiche degli strati della sovrastruttura, si avrebbe una riduzione della durata di servizio. Inoltre, tale scenario suggerisce la necessità di effettuare una scelta ponderata all'interno della fase decisionale degli interventi, ossia, compatibilmente con la politica del gestore, valutare attentamente circa la necessità di ricorrere all'intervento di M&R meglio indicato sulla base dei risultati delle caratterizzazioni meccaniche e delle indagini di tipo prestazionale.

7.5. Peculiarità delle sovrastrutture aeroportuali

In ambito aeroportuale, ancor più di quello stradale, il livello prestazionale delle sovrastrutture rappresenta un aspetto rilevante soprattutto per quanto riguarda la sicurezza nella circolazione degli aeromobili. Uno dei pericoli maggiori per la sicurezza è la presenza di oggetti potenzialmente dannosi definiti FOD - Foreign Object Debris. Il FOD è stato e può essere causa principale o concomitante di fenomeni quali danni agli pneumatici, aspirazione da parte dei motori o danneggiare parti meccaniche degli aeromobili [44]. Le conseguenze di un eventuale danneggiamento a parti di un aeromobile possono essere altamente dannose determinando danni talvolta irreparabili agli aeromobili fino all'avvenimento di eventi tragici. Tra le cause di formazione di FOD sono presenti anche quelle dovute al distacco di parti di conglomerato bituminoso o di calcestruzzo, distacco di sigillante utilizzato nei giunti e inerti. Appare quindi condizione indispensabile realizzare sovrastrutture e porre in atto tecniche manutentive in grado di assicurare elevate prestazioni alle sollecitazioni per le quali sono state progettate e garantire che nessuna parte della pavimentazione venga in qualche modo rimossa dal transito di un aeromobile.

8. Rilevamento e conservazione dati

La frequenza temporale della campagna di rilievi viene proposta secondo lo schema della seguente tabella:

Tabella 13 – Proposta di frequenza monitoraggio delle sovrastrutture

Area	Tipologia costruttiva	Frequenza di rilievo (mesi)				
		Regolarità longitudinale e trasversale	Aderenza su bagnato (APT 10A ENAC)	Macro tessitura	Condizioni strutturali (ACN/PCN)	PCI (Pavement Condition Index)
Runway	Flessibile Semi-rigida	36	1	36	60	36
Runway	Rigida	60	-	-	84	60
Taxiways Aprons	Flessibile Semi-rigida	36	-	-	60	36
Taxiway Aprons	Rigida	60	-	-	84	60

- Regolarità longitudinale e trasversale

Il rilevamento della regolarità longitudinale dipende sostanzialmente dallo spettro di traffico che interessa lo scalo in analisi. La FAA raccomanda un numero di allineamenti minimo pari a 3 interessando la center-line, linea parallela a sinistra e a destra. Nel caso di aeromobili prevalentemente appartenenti alla categoria Airplane Design Group ADG di II e III tipo è suggerita una distanza dalla center-line di 3,05 metri mentre per ADG di IV, V e VI tipo è suggerita una distanza di 5,22 metri dalla centerline. Per spettri di traffico che contemplano un certo numero di movimenti appartenenti a tutte le tipologie di aeromobili e preferibile effettuare i rilevamenti lungo 5 allineamenti.

Tabella 14 – Schema esecutivo dei test di regolarità

Ubicazione test	Allineamento
Regolarità longitudinale RUNWAY	3 m dx centerline
	3 m sx centerline
	5,20 m dx centerline
	5,20 m sx centerline
TAXIWAYS/APRONS	3 m dx centerline
	3 m sx centerline

Tabella 15 - Schema rilievo e conservazione dati regolarità longitudinale

Rilevamento della regolarità longitudinale Valutazione dell'indice di regolarità longitudinale					
Data	Settore	Allineamento	Progressiva (da ... a ...)	IRI	BBI
...
...

Per quanto concerne la pendenza trasversale è possibile fare riferimento alla norma UNI EN 13036-6:2008 [45].

Tabella 16 - Schema rilievo e conservazione dati regolarità trasversale (UNI EN 13036-6:2008)

Rilevamento della regolarità trasversale Valutazione dell'indice di regolarità trasversale				
Data	Settore	Sezione omogenea	Progressiva	Pendenza α
...
...

- Aderenza

La prova viene svolta sulla pista di volo alla velocità di 95 km/h. A discrezione dell'operatore, per una più accurata valutazione delle condizioni della pavimentazione, la prova potrà essere ripetuta alla velocità di 65 km/h.

Tabella 17 - Schema esecutivo dei test di aderenza

Ubicazione test	Allineamento
RUNWAY	3 m dx Centerline
	3 m sx Centerline

L'esito di prova dovrà essere trascritto su registro cartaceo e su formato digitale.

Tabella 18 - Schema rilievo e conservazione dati test di aderenza

GRIP Surface Friction Tester					TEST Vehicle
Rilevamento del Coefficiente di Aderenza μ					
Anno	Mese	RWY05 (A)	Center (B)	RWY23 (C)	Media
...

- Macrotessitura**Tabella 19 - Schema esecutivo dei test di macrotessitura**

Ubicazione test	Allineamento
RUNWAY	3 m dx centerline
	3 m sx centerline

Tabella 20 - Schema rilievo e conservazione dati test di macro tessitura

Rilevamento della macro tessitura superficiale Valutazione dell'indice MTD – Mean Texture Depth UNI EN 13036-1 - CNR 94/83					
Data	Allineamento	Progressiva	Sezione	Vita utile Pavimentazione	MTD
...
...

- Portanza

La tecnica di rilevamento strutturale oggi più diffusa e supportata da un'ampia esperienza applicativa e la prova di tipo deflettometrica condotta con HWD. La prova dovrà essere eseguita sugli allineamenti principali definiti dall'analisi dello spettro di traffico caratteristico del caso analizzato includendo all'interno dei rilevamenti le traiettorie entro le quali si verificano il maggior numero di ricoprimenti. Un supporto alla pianificazione della campagna di indagini deflettometriche è fornito dalla circolare FAA AC 150-5370-11B [46].

Tabella 21 - Schema disposizione geofoni per l'esecuzione di prove deflettometriche

Rilevamento della capacità portante con HWD										
N. minimo geofoni	Interspazio geofoni da center load (cm)								Carico (kN)	
7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	150		
	0	30	60	90	120	150	180			
9	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	150
	0	20	30	45	60	90	120	150	180	

Nella tabella seguente viene proposto uno schema di rilevamento per la valutazione della capacità portante secondo le traiettorie interessate da un'ampia percentuale di traffico che interessa lo scalo in esame. In merito alla localizzazione delle prove sulla pavimentazione rigida presente nei piazzali di sosta degli aeromobili è preferibile individuare le lastre sulle quali andranno condotte le indagini, assicurando il numero minimo di rilevamenti all'interno di una sezione omogenea, in occasione di ogni campagna per così poter concentrare le acquisizioni in prossimità del passaggio del carrello principale o in aree di sosta degli aeromobili. Il layout inerente la circolazione e la sosta, fatti salvi gli stand adiacenti ai finger, può subire una modifica della configurazione per via dell'evoluzione del traffico o da esigenze del gestore. E' importante definire anche una differente schematizzazione a seconda della finalità del rilevamento; nel caso di rilevamenti a livello di *Network Level* è possibile effettuare rilevamenti in larga scala, dai quali è comunque possibile ricavare informazioni sufficienti per la definizione del livello prestazionale e per la redazione di scenari futuri, mentre, nel caso di *Project Level*, è preferibile eseguire test più dettagliati che mirano ad una più accurata valutazione in previsione di un intervento di M&R.

Tabella 22 - Schema esecutivo dei test di deflettometrici - RUNWAY

RUNWAY								
Test	Pavimentazione Rigida e Semi-rigida (Lastre dim. 7,5m x 7,5m)				Flessibile			
	Project level		Network level		Project level		Network level	
	Offset (m)	Spacing (m)	Offset (m)	Spacing (m)	Offset (m)	Spacing (m)	Offset (m)	Spacing (m)
Center	+3,75/-3,75	30	+3,75/-3,75	60	+3/-3/-5,2 -3/+3/+5,2	25	+3/-3/-5,2 -3/+3/+5,2	50
Tran. Joint	+3,75/-3,75	30	+3,75/-3,75	60	-	-	-	-
Long. Joint	+3,75 -3,75	60	+3,75 -3,75	120	-	-	-	-
Corner	+3,75 -3,75	60	+3,75 -3,75	120	-	-	-	-

Tabella 23 Schema esecutivo dei test di deflettometrici - TAXIWAY

TAXIWAY							
Test	Pavimentazione Rigida e Semi-rigida			Flessibile			
	Project level		Network level	Project level		Network level	
	Offset (m)	Spacing (m)	Spacing (m)	Offset (m)	Spacing (m)	Offset (m)	
Center	--	-	-	25	+3/-5,2 -3/+5,2	50	50

Tabella 24 - Schema esecutivo dei test di deflettometrici - APRON

APRON				
Test	Pavimentazione Rigida e Semi-rigida		Flessibile	
	Project level	Network level	Project level	Network level
Center	1 test ogni 15 lastre (7,5mx7,5m) 1 test ogni 20 lastre (5,0mx5,0m)	1 test ogni 45 lastre (7,5mx7,5m) 1 test ogni 60 lastre (5,0mx5,0m)	1 test ogni 1000 mq	1 test ogni 2500 mq
Tran. Joint	1 test ogni 30 lastre (7,5mx7,5m) 1 test ogni 40 lastre (5,0mx5,0m)	1 test ogni 60 lastre	-	-
Long. Joint	1 test ogni 30 lastre (7,5mx7,5m) 1 test ogni 40 lastre (5,0mx5,0m)	1 test ogni 60 lastre	-	-
Corner	1 test ogni 30 lastre (7,5mx7,5m) 1 test ogni 40 lastre (5,0mx5,0m)	-	-	-

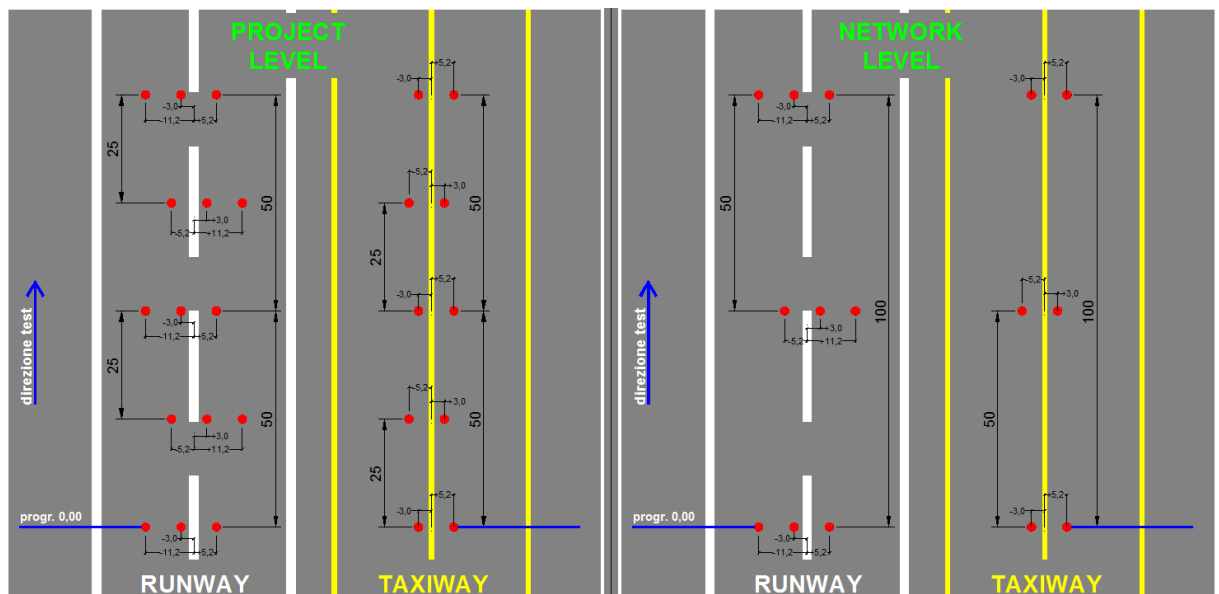


Immagine 44 - Schema di esecuzione delle prove deflettometriche nei diversi livelli di analisi

Attraverso le prove deflettometriche viene rilevato il bacino di deflessione dovuto all'impulso trasmesso. E' possibile effettuare considerazioni preliminari sulla capacità portante attraverso l'analisi dei valori di deflessione ottenuti utilizzando sia il valore di deflessione massima per valutazioni di tipo generale sia valutazioni sulla capacità portante dei singoli strati attraverso l'utilizzo di indicatori che analizzano la forma del bacino di deflessione. Grazie alla procedura di back-calculation è possibile determinare anche il modulo di ogni strato della pavimentazione e il valore di PCN.

Tabella 25 - Schema rilievo e conservazione risultati deflettometriche

Rilevamento della capacità portante Prove deflettometriche									
Data	Allineamento	Progressiva	Sezione	D1 (mm)	E1	E2	E3	PCN	
...
...

- Condizione superficiale – PCI.

I rilevamenti devono essere svolti interessando un'area definita a priori in fase di programmazione della campagna d'indagine e, in ogni caso, non potranno interessare un numero di unità semplici inferiore a quello determinato applicando la norma ASTM D5340-12.

Tabella 26 - Schema rilievo e conservazione risultati prove PCI

Rilevamento delle condizioni superficiali Valutazione dell'indice PCI – Pavement Condition Index ASTM D5340-12		
Data	Sezione omogenea	PCI
...
...

Tra le tecnologie oggi disponibili, un contributo rilevante a supporto del monitoraggio prestazionale si può ottenere grazie al ricorso di sensori integrati nella pavimentazione in grado di rilevare sollecitazioni, ricostruire flussi di circolazione e traiettorie degli aeromobili, ossia individuare con maggiore precisione aree soggette a maggiore sollecitazione, fino ad aumentare l'affidabilità dei modelli prestazionali di decadimento consentendo di adottare una procedura di modellazione previsionale di tipo avanzato. Si ricorre quindi ad una cosiddetta sovrastruttura "strumentata" in grado di acquisire informazioni quali traffico, sollecitazioni, temperature dei diversi strati. Con l'uso dei sensori è inoltre possibile valutare l'effetto dell'intero spettro di traffico sulla pista di volo nelle tre differenti fasi, ossia decollo, transito e rullaggio [47]. Attualmente le applicazioni più diffuse prevedono l'utilizzo di LVDT – Linear Variable Differential Transformer (trasduttori di spostamento induttivo), Strain Gauge (estensimetri), celle di pressione, termocoppie, misuratori di umidità e misuratori di giunto. Sono in fase di sperimentazione e validazione nuove tecniche di monitoraggio che sfruttano la potenzialità delle fibre ottiche con il sistema FBG – Fiber Grabb Rating, il quale consente di ottenere risultati particolarmente accurati con un'elevata percentuale di funzionamento a

seguito della installazione e realizzazione degli strati superiori della pavimentazione [48]. Grazie alla realizzazione di una sovrastruttura strumentata è possibile ricavare informazioni integrative relative alla caratterizzazione meccanica dei materiali utilizzati e degli strati realizzati, ottenere indicazioni provenienti direttamente dal sito interessato che consentono di procedere in modo razionale allo sviluppo dei modelli di decadimento e alla gestione ottimale pianificazione degli interventi

9. Modello d'implementazione proposto

9.1. Finalità

L'analisi di un aeroporto caratterizzato da forte stagionalità ha messo in evidenza la necessità di garantire la piena operatività dello scalo soprattutto durante il periodo di massimo traffico. Un'interruzione delle normali operazioni durante una giornata ad intenso traffico comporterebbe forte disagio ad un elevato numero di passeggeri nonché importanti perdite economiche per la società di gestione. Altro fattore rilevante emerso durante l'analisi dell'aeroporto caso studio è lo spettro di traffico. La forte componente di movimenti di tipo privato determina una distribuzione eterogenea relativa alla dimensione degli aeromobili, variando tra peso massimo al decollo compreso tra 1T e 397T, mentre per i movimenti di tipo commerciale (voli di linea, charter, aerei di stato) la variazione è contenuta tra 20T e 230T (dati 2014) ma con il 98% degli stessi appartenenti ad aeromobili di classe C.

In virtù delle considerazioni effettuate, nel presente lavoro viene proposto un modello di implementazione caratterizzato dai seguenti punti:

- a.** Istituire un'attività di monitoraggio proporzionale all'intensità del traffico schedulato per il mese selezionato, al fine di ottimizzare le risorse a disposizione, con conseguente incremento durante la stagione di picco. La finalità principale di tale attività è quella di monitorare la condizione superficiale della pavimentazione, anche ricorrendo a test rapidi di tessitura.
- b.** Promuovere l'utilizzo di un catalogo dei dissesti che consenta all'operatore aeroportuale il rapido e puntuale riconoscimento degli ammaloramenti e valutarne la severità e l'estensione. In tal modo sarà possibile individuare la metodologia di ripristino necessaria per la risoluzione della problematica;
- c.** Individuare un catalogo degli interventi di manutenzione e riabilitazione al cui interno siano inseriti anche una serie di interventi di tipo rapido e urgente, consentendo un'azione manutentiva immediata in grado di evitare o, comunque limitare, interruzioni dell'operatività specialmente durante la stagione di picco. L'azione coordinata tra l'attività di monitoraggio e il rapido intervento manutentivo consente quindi di confinare, sia sotto il punto di vista della superficie interessata sia sotto il punto di vista della profondità, l'entità dell'intervento e quindi l'esecuzione di interventi in larga scala;

- d. All'interno delle stagioni in cui è possibile eseguire interventi manutentivi in larga scala individuare le problematiche derivanti dalle condizioni climatiche e proporre azioni di monitoraggio e modi di realizzazione che garantiscano la buona riuscita degli interventi;
- e. Vengono inoltre indicate una serie di osservazione che durante l'esperienza maturata "in situ" si ritiene possano essere utili nella fase di implementazione così come nella gestione quotidiana degli interventi manutentivi.
- f. Accertata la difficoltà nello sviluppo di un modello previsionale affidabile in quanto non supportato da un adeguato storico di indagini per ognuno degli indicatori presi in esame, durante il lavoro di analisi dei dati ho stabilito di assumere quale arco temporale di riferimento 10 anni. Per le stesse ragioni, sulla base della ricerca bibliografica svolta e dei numerosi casi studio

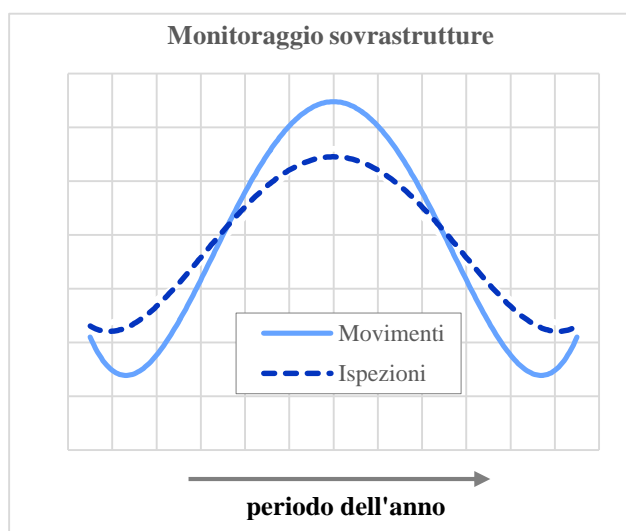


Immagine 45 – Relazione attività ispettiva – traffico

e esaminati, per l'analisi del livello prestazionale al livello di rete, la scelta è ricaduta sul Pavement Condition Index, trattandosi di uno degli indicatori più utilizzati in ambito aeroportuale. Il modello di decadimento scelto è stato basato sulla cosiddetta *straight-line* (linea retta).

g. Definire, nella fase di implementazione delle sezioni omogenee, una gerarchia delle stesse con l'obiettivo di attribuire, obiettivamente e sistematicamente, un "peso" relativo maggiore a quei rami e/o sezioni omogenee che, sulla base delle caratteristiche prestazionali analizzate nella fase iniziale, siano state ritenute prioritarie nella gestione delle sovrastrutture e della circolazione a terra degli aeromobili. Il modello proposto quindi focalizza quindi l'attenzione sulla condizione superficiale della pavimentazione, definendo un diverso livello gerarchico per le diverse aree di manovra destinate alla circolazione degli aeromobili.

9.2. Attività di monitoraggio

L'attività di monitoraggio permette di conoscere la condizione della sovrastruttura. Tale attività ispettiva rientra nei compiti del gestore aeroportuale, il quale deve condurre un'attività ispettiva finalizzata alla prevenzione di eventuali situazioni di pericolo, quali monitoraggio degli ostacoli dichiarati, allontanamento volatili e sorveglianza sovrastrutture di volo.

Sulla base delle informazioni acquisite, specifiche dello scalo in esame, si ritiene utile ai fini dell'ottimale gestione delle sovrastrutture, integrare le normali attività di sorveglianza con ispezioni effettuate da personale formato sulla base di un catalogo dei dissesti all'uopo definito. Le informazioni acquisite possono costituire strumento di correzione e miglioramento relativamente allo sviluppo dei modelli previsionali di decadimento della sovrastruttura. La finalità dell'attività di monitoraggio è quella condurre accertamenti di tipo visivo mirati a individuare ammaloramenti della pavimentazione nella fase iniziale di formazione. Quest'attività, inoltre, consente di raccogliere informazioni interscambiabili con le indagini a frequenza prestabilita svolte sulla pavimentazione.

Per ottimizzare le risorse disponibili la frequenza delle ispezioni andrà proporzionata al fattore che maggiormente influenza la pavimentazione, ossia il traffico di aeromobili e le relative sollecitazioni indotte, ossia secondo una schematizzazione rappresentata nel grafico successivo.

L'attività ispettiva rappresenta un'importante strumento complementare al programma di gestione basato sulla pianificazione degli interventi manutentivi dettati dai modelli previsionali in uso e dalle politiche del gestore. Di fatto la continua conoscenza sempre aggiornata dello stato delle infrastrutture consente di:

- Programmare eventuali interventi rapidi e urgenti mirati a prevenire potenziali decadimenti del livello prestazionale (p.es. cedimenti localizzati, distacco porzioni di lastre in calcestruzzo) che possano condizionare la normale circolazione degli aeromobili;
- Costituire strumento di validazione delle curve di decadimento implementate o da implementare in un programma di gestione delle sovrastrutture e, parallelamente, costituire supporto alla all'analisi dei dati prestazionali relativi agli altri indicatori di stato, quali regolarità superficiale, tessitura e capacità strutturale;
- Permettere agli operatori di valutare l'efficacia e l'adeguatezza di interventi manutentivi effettuati in passato.

Nel grafico seguente viene proposta una frequenza di monitoraggio di ispezioni visive per la valutazione degli ammaloramenti. Tali ispezioni possono rientrare all'interno del programma di sorveglianza e prevenzione giornaliero che rientra tra i compiti del gestore.

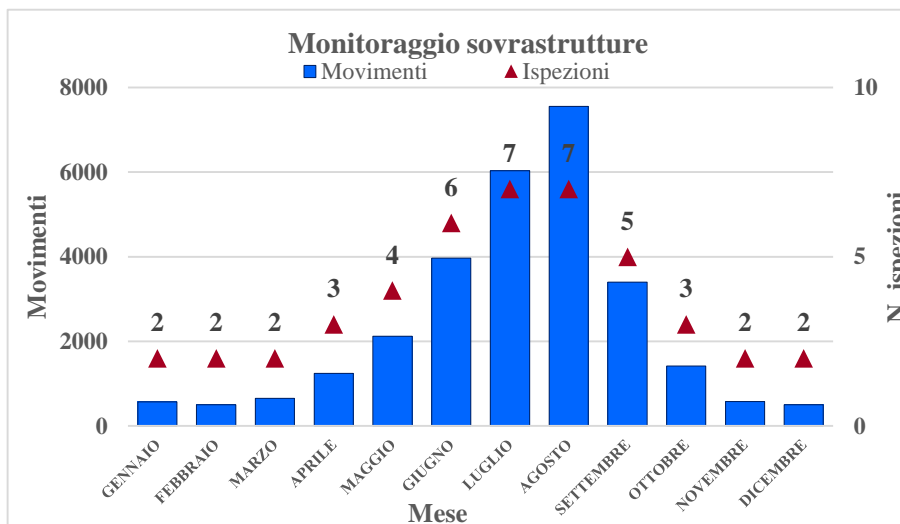


Immagine 46 – Attività ispettiva di dettaglio proposta

Affinché tali ispezioni possano essere utili alla gestione della sovrastruttura e, in particolare, di supporto all'attività di *pavement management*, è necessario che gli operatori possano effettuare rilevamenti e riscontrare dissesti attraverso l'ausilio di un catalogo dei dissesti specificatamente realizzato per lo scalo in analisi.

9.3. Catalogo dei dissesti

Nella gestione delle sovrastrutture il rilevamento periodico del livello prestazionale rappresenta uno dei punti chiave per la positiva applicazione di un APMS. L'analisi della pavimentazione prevede la valutazione di caratteristiche quali regolarità, condizione superficiale, aderenza, rete di drenaggi e portanza. Il risultato dell'attività di monitoraggio viene poi utilizzato per la fase di pianificazione e programmazione degli interventi manutentivi nonché la definizione del budget necessario. Tra i diversi indicatori di condizione, quello ritenuto più importante è quello relativo alla condizione superficiale. In ambito aeroportuale sono diversi i riferimenti normativi e le guide che costituiscono valido supporto per gli addetti. All'interno dei cataloghi è quindi possibile individuare tutti i dissesti che si possono riscontrare durante una normale attività di monitoraggio. Successivamente alla raccolta dei dati e ai degradi riscontrati viene attribuita una classificazione all'area indagata.

Il metodo di valutazione superficiale più diffuso è l'indice PCI. Per la determinazione dell'indice numerico compreso tra 0 e 100 si può far riferimento a 16 diverse tipologie per quanto riguarda le

pavimentazioni di tipo rigido e 17 diverse tipologie per le pavimentazioni flessibili e semi-rigide. In molti casi è prevista una classificazione del dissesto (bassa, media, alta) a seconda del livello di severità riscontrato.

Nel presente lavoro è stato istituito un catalogo dei dissesti di cui all'allegato "CATALOGO DEI DISSESTI PER IL MONITORAGGIO E LA SORVEGLIANZA DELLE STRUTTURE DI VOLO" sviluppato tenendo in considerazione la realtà operativa considerata ossia quella di un aeroporto ad alta stagionalità. L'alta stagionalità comporta la necessità di riconoscere rapidamente attraverso il catalogo i dissesti che potrebbero in tempi brevi limitare l'operatività dell'aeroporto oppure ammaloramenti di severità minore i quali interventi di ripristino possono essere rimandati ed eseguiti in periodi con intensità di traffico inferiore.

Il lavoro di redazione del catalogo ha seguito le indicazioni provenienti dalla norma ASTM D5340-12 – Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys [41], dalla FAA Advisory Circular 150/5380-6B – Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements [42] e dalla FAA Advisory Circular 150/5320-17 – Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals [49].

Tabella 27 –Classificazione dissesti – pav- rigida

CLASSIFICAZIONE DISSESTI			
Pavimentazione rigida (16)	Aderenza	R.A1	Aggregato levigato
		R.A2	Azione di agenti contaminanti
	Portanza	R.P1	Fessure longitudinali, trasversali e diagonali
		R.P2	Fessure angolari
		R.P3	Fessurazioni a rete
		R.P4	Risalita dei fini - Pumping
		R.P5	Assestamenti
	Regolarità	R.R1	Fessure da invecchiamento
		R.R2	Microfessure
		R.R3	Degrado dei giunti di dilatazione
		R.R4	Distacco superficiale di inerti, microfessure
		R.R5	Rottura longitudinale del giunto di dilatazione
		R.R6	Rottura angolare della piastra
		R.R7	Rotture e sollevamenti
		R.R8	Distacco di inerti
		R.R9	Rappezzi

Tabella 28 –Classificazione dissesti – pav. flessibile

Pavimentazione flessibile (17)	Aderenza	F.A1	Sgranamento superficiale
		F.A2	Effetto Jet Blast
		F.A3	Aggregato levigato
		F.A4	Rifluimento del bitume
		F.A5	Sversamento di olio/carburante
	Portanza	F.P1	Fessure longitudinali e trasversali
		F.P2	Fessure da invecchiamento
		F.P3	Cedimenti/sfondamenti
		F.P4	Rigonfiamenti localizzati
	Regolarità	F.R1	Fessure a blocchi
		F.R2	Fessure riflesse da discontinuità sottostanti
		F.R3	Fessure a mezzaluna
		F.R4	Rappezzi
		F.R5	Ripristino fessure cavidotti
		F.R6	Ormaiamento
F.R7		Corrugazione	
F.R8		Rotture di giunto tra diverse tipologie di pavimentazione	

9.4. Comportamento della sovrastruttura in diverse condizioni climatiche

Durante lo sviluppo della tesi ho condotto ricerche e studi relativamente al comportamento della sovrastruttura in diverse condizioni climatiche. In particolare è stato possibile individuare differenti prestazioni per quanto riguarda il coefficiente di aderenza e la capacità portante.

9.4.1. Andamento del coefficiente di aderenza

L'osservazione dei rilevamenti di aderenza svolti mensilmente ha messo in evidenza due differenti trend del coefficiente di attrito rilevato. Infatti è stato possibile individuare una prima fase (5/8 anni) in cui il trend decresce in maniera quasi costante mentre nella seconda fase il valore medio non cambia, oscillando stagionalmente. Di fatto, nella stagione estiva, la combinazione di assenza di pioggia, temperatura e intenso accumulo di gomma, porta ad un abbassamento dell'aderenza a causa della contaminazione della pista di volo. Per contro, durante la stagione invernale, le piogge, complice lo scarso movimento di aerei, effettuano un vero e proprio dilavamento della gomma e degli altri contaminanti presenti.

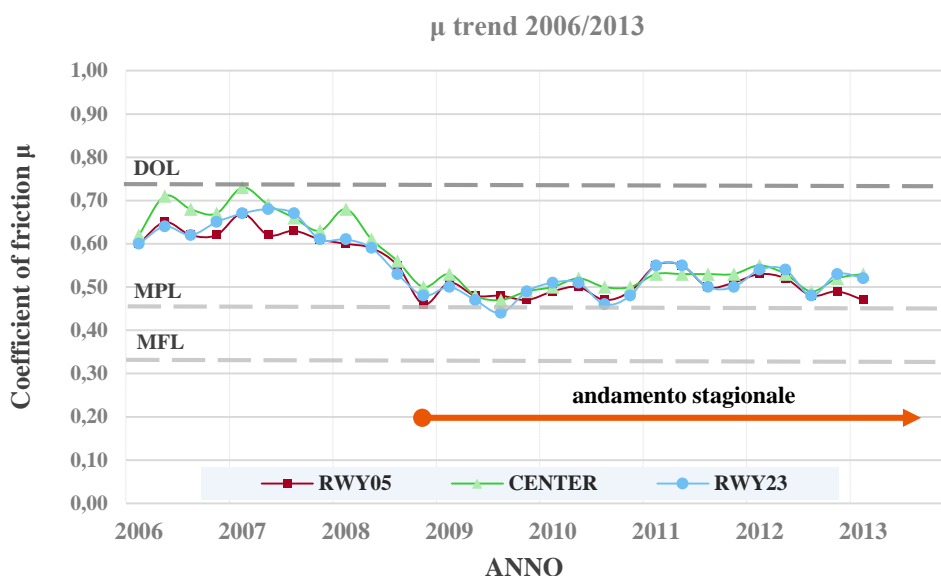


Immagine 47 – Trend coefficiente di aderenza Aeroporto Olbia “Costa Smeralda”

Appare evidente sottolineare che uno scalo altamente stagionale quale quello di Olbia risente particolarmente dell’oscillazione stagionale, con variazioni *peak-to-peak* maggiori, come atteso, sulle zone di toccata in fase di atterraggio.

Tabella 29 – Tendenza oscillatoria del valore μ trimestralizzato

Data	RWY 05	CENTER	RWY 23
Average 2008-2012	0,51	0,53	0,51
Average <i>peak-to-peak</i> 2008-2012	0,11	0,08	0,11

9.4.2. Influenza stagionale sulla capacità portante

L’analisi dei risultati provenienti da prove deflettometriche svolte in diverse stagioni ha messo in risalto una diversa risposta della sovrastruttura alle sollecitazioni e quindi un differente comportamento della stessa. Come atteso, gli strati superficiali realizzati in pavimentazione flessibile risentono sensibilmente della temperatura inficiandone i moduli caratteristici.

Durante il lavoro di ricerca, grazie all’impianto di una rete di piezometri per il monitoraggio del livello di falda, è stato possibile associare la capacità portante degli strati inferiori con l’andamento del livello di falda. Questa attività ha permesso innanzitutto di accertare la presenza di falda, specialmente nei mesi piovosi, ad una quota che può essere definita critica in quanto tale da

influenzare i rilevanti svolti con prove deflettometriche e, in secondo luogo, è stato possibile definire la necessità di effettuare un vero e proprio potenziamento e riesame della rete di drenaggi.

9.5. Prescrizioni operative su tecniche d'intervento e materiali da utilizzare.

La definizione delle tecniche di intervento migliori per l'attività di manutenzione dipende da diversi fattori tra i quali sono da ritenere vincolanti la politica del gestore, la capacità tecnica reperibile nel mercato locale e le condizioni climatiche specifiche del sito. La scelta sulla soluzione da adottare passa per considerazioni dettagliate, specificatamente analizzate per le caratteristiche del sito in esame, ossia da quanto emerso dalle indagini di stato e dall'eventuale monitoraggio condotto [11].

Anche per quanto riguarda le prescrizioni operative e le tecniche di intervento si è tenuto conto della peculiarità dello scalo. L'alta stagionalità impone, oltre all'utilizzo delle normali tecniche manutentive valide in ambito aeroportuale, lo sviluppo di tecniche e accorgimenti da porre in atto qualora si debba intervenire con estrema rapidità oppure si debba operare in condizioni climatiche non favorevoli. Sono proposte quattro differenti categorie di intervento, distinte in base all'estensione interessata e all'efficacia:

- **Interventi manutentivi globali;**

Questo tipo di interventi hanno come scopo quello di rallentare il decadimento prestazionale consentendo di estendere la vita utile della pavimentazione, consentendo di posticipare interventi di maggiore entità.

- **Interventi di ricostruzione;**

Gli interventi di ricostruzione sono applicati all'intera sezione presa in analisi, ponendosi come obiettivo primario il ripristino del livello prestazionale iniziale o, se dettato dall'analisi dello spettro di traffico, l'incremento della capacità strutturale.

- **Interventi manutentivi localizzati;**

Gli interventi di questo tipo sono interventi di tipo "leggero", messi in atto con scopo predittivo, mirati a rallentare il decadimento prestazionale della sovrastruttura senza necessariamente interessare intere sezioni omogenee.

- **Interventi localizzati e urgenti;**

Sono gli interventi mirati a risolvere ammaloramenti di tipo localizzato garantendo la funzionalità della sovrastruttura ma per un limitato arco temporale. I vantaggi di questo tipo di applicazione sono diversi: consentono al gestore di pianificare e programmare interventi di maggiore entità che, a seconda del periodo, possono essere rimandati a condizioni meteo favorevoli e ridurre l'interruzione o limitazione dell'operatività aeroportuale.

Le tecniche di intervento sono finalizzate a ripristinare il livello operativo della pavimentazione in seguito ad un decadimento del livello prestazionale. Nell'allegato "CATALOGO DELLE TECNICHE DI INTERVENTO PER LA MANUTENZIONE E IL RIPRISTINO FUNZIONALE DELLE STRUTTURE DI VOLO" sono illustrate le tecniche di intervento individuate per risolvere le diverse problematiche o la messa in atto delle diverse politiche di gestione della sovrastruttura. Nel seguente quadro sono sintetizzate le tecniche individuate.

Tabella 30 – Interventi di ripristino – pav- rigida

INTERVENTI DI RIPRISTINO		
Pavimentazione flessibile/semi-rigida		
Tipologia	ID	Descrizione
1.1 - Interventi manutentivi globali	M&R.01	Ripristino aderenza superficiale
	M&R.02	Rifacimento strato di usura
	M&R.03	Rifacimento strato di usura e di collegamento
	M&R.04	Ricostruzione strati in conglomerato bituminoso
1.2 - Interventi di ricostruzione	M&R.05	Rifacimento sovrastruttura
	M&R.06	Risanamento profondo
1.3 - Interventi localizzati e urgenti	M&R.07	Ripristino localizzato con conglomerato bituminoso a caldo
	M&R.08	Riempimento buche con conglomerato bituminoso a freddo
1.4 - Interventi manutentivi localizzati	M&R.09	Sigillatura fessure pavimentazione flessibile/semi-rigida
	M&R.10	Ripristino fessure in prossimità dei cavidotti per l'alimentazione dei fuochi di center line

Tabella 31 – Interventi di ripristino – pav. flessibile

INTERVENTI DI RIPRISTINO		
Pavimentazione rigida		
Tipologia	ID	Descrizione
2.1 - Interventi manutentivi globali	M&R.11	Ripristino di lastre in calcestruzzo a medio spessore
2.2 - Interventi di ricostruzione	M&R.12	Ripristino di lastre in calcestruzzo a tutto spessore
2.3 - Interventi localizzati e urgenti	M&R.07	Riempimento buche con conglomerato bituminoso a caldo
	M&R.08	Riempimento buche con conglomerato bituminoso a freddo
2.4 - Interventi manutentivi localizzati	M&R.13	Ripristino giunti lastre in calcestruzzo
	M&R.14	Sigillatura giunti/fessure lastre in calcestruzzo

9.6. Prescrizioni operative per interventi manutentivi sulla base delle condizioni climatiche

L'analisi dei dati climatici reperiti, unitamente ai dati di traffico mensile, ha messo in evidenza la presenza di due macro stagioni che caratterizzano lo scalo. Come è possibile riscontrare nel grafico successivo, si ha una stagione “*alta*” compresa tra Maggio e Ottobre con temperature medie tra i 17°C (Maggio e Ottobre) e i 25°C di Agosto, precipitazioni relativamente basse, ad eccezione di Ottobre, e un numero medio di movimenti mensili superiore a 4000, mentre, per contro, si ha una stagione “*fredda*” compresa tra Novembre e Aprile con temperature medie comprese tra i 10°C di Gennaio e i 13°C di Aprile e Novembre, maggiori precipitazioni e numero medio di movimenti mensili inferiore a 700.

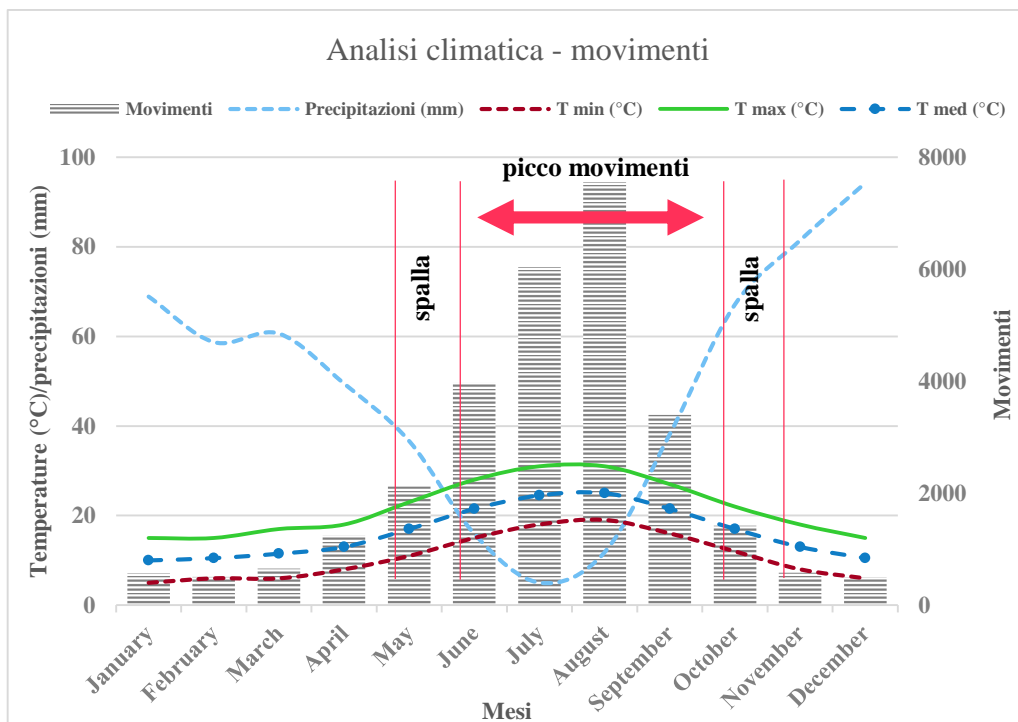


Immagine 48 – Confronto condizioni climatiche - movimenti

Da questa analisi emerge la necessità di implementare un APMS che focalizzi la propria attenzione nel garantire l'operatività dello scalo. Per raggiungere tale obiettivo è necessario ricorrere alla *destagionalizzazione* dell'esecuzioni di interventi manutentivi che, pertanto, non possono essere eseguiti nelle condizioni ottimali. Limitando gli interventi di tipo localizzato alla stagione di alto traffico, gli interventi di tipo globale dovranno essere programmati durante la restante parte dell'anno.

Un'ulteriore analisi del periodo freddo, considerando le condizioni climatiche relativamente migliori, l'andamento del traffico e ovvie esigenze di profitto, suggerisce in Aprile e Novembre i mesi utili, comunque non ottimali, per l'esecuzione di interventi di M&R. Nell'esecuzione di interventi fuori stagione è quindi opportuno adottare tecniche esecutive e specifici accorgimenti al fine di raggiungere i requisiti prestazionali ricercati.

A titolo illustrativo nello schema sotto riportato è rappresentata un'organizzazione ottimale di risorse umane e finanziarie.

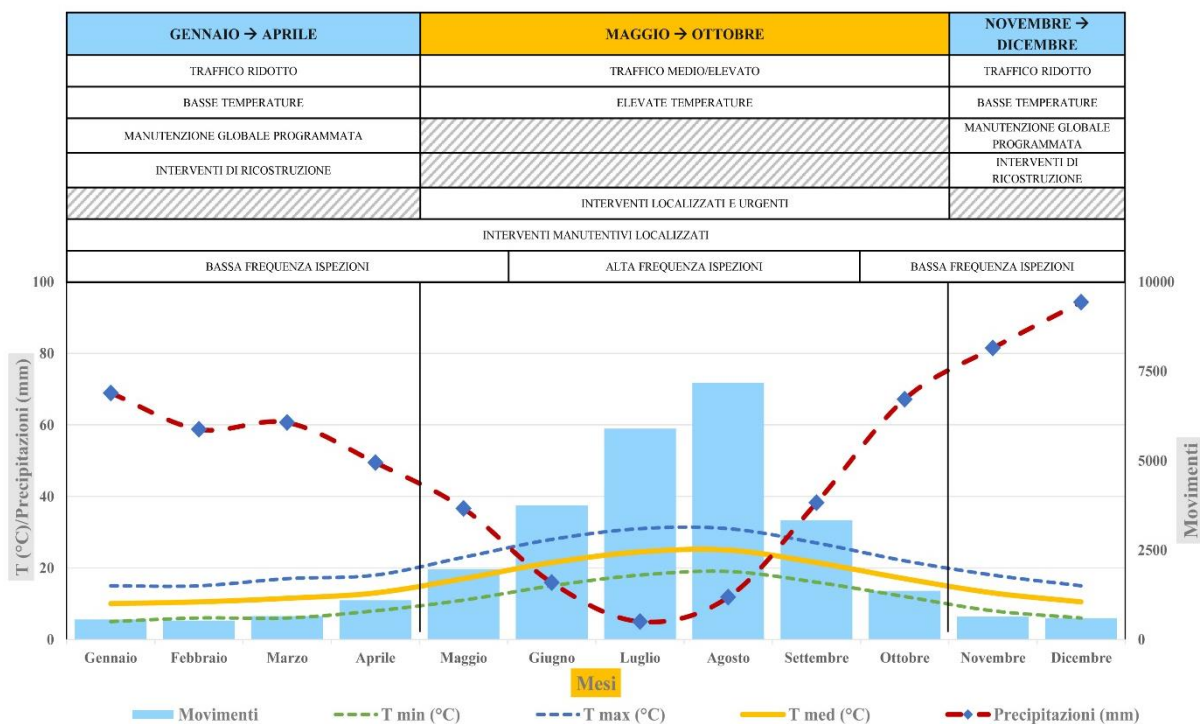


Immagine 49 - Organizzazione ottimale di PMS per aeroporti ad alta stagionalità

9.6.1. Realizzazione di strati in conglomerato bituminoso a caldo

L'esecuzione di pavimentazioni di tipo flessibile in conglomerato bituminoso a caldo richiede condizioni climatiche ottimali affinché sia garantita la realizzazione a regola d'arte. La maggiore problematica data dall'esecuzioni di lavori a basse temperature è quella di non disporre di un sufficiente arco temporale necessario a raggiungere un'adeguata compattazione del materiale. Le basse temperature infatti riducono la temperatura del piano di stesa e abbassano rapidamente la temperatura del materiale appena steso.

Il conglomerato bituminoso, al diminuire la propria temperatura, ha una riduzione della viscosità e pertanto non può essere raggiunto un adeguato addensamento. Senza un'adeguata compattazione il materiale potrebbe avere un indice dei vuoti maggiore rispetto a quello previsto dalle specifiche di capitolato portando ad effetti di sgranamento prematuri e quindi riducendo la vita utile di progetto. La problematica è, per ovvi motivi, maggiore nel caso si tratti del manto di usura, essendo allo stesso richiesto un minore indice dei vuoti nonché l'impermeabilizzazione degli strati inferiori.

Nel caso in esame sono state prese in analisi le condizioni climatiche caratteristiche del sito indagato e condotta una valutazione sullo spessore minimo suggerito in considerazione della temperatura del materiale durante la stesa e delle componenti climatiche, ossia temperatura ambiente, temperatura del piano di posa e intensità del vento.

Il grafico illustra la variazione dello strato di stesa minimo da eseguire in considerazione delle temperature di lavoro e del materiale appena steso.

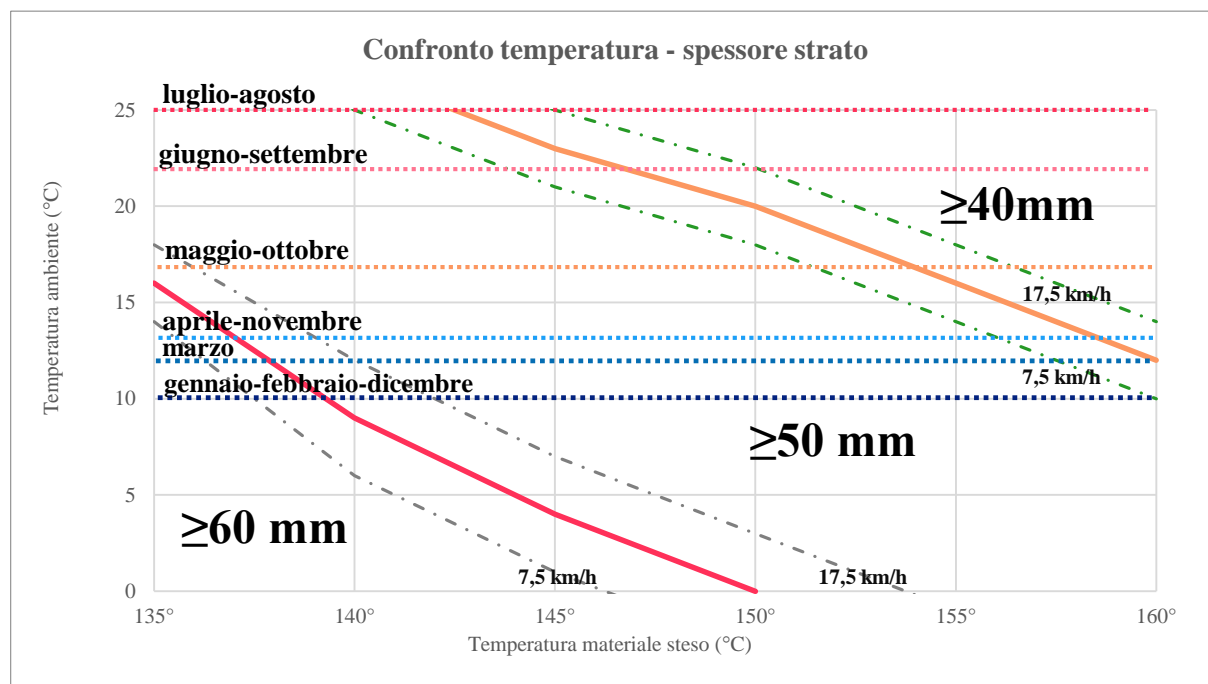


Immagine 50 - Requisiti di accettazione per la stesa di conglomerato bituminoso caldo

In virtù dei risultati ottenuti emerge la necessità di imporre specifiche esecutive in funzione delle condizioni climatiche in cui si intende operare. Dal grafico è possibile individuare il periodo ottimale per l'esecuzione di lavori di stesa di conglomerato bituminoso a seconda dello spessore. Come atteso, maggiore è lo spessore minore è la diminuzione della temperatura al trascorrere del tempo. Una componente importante è costituita anche dall'intensità del vento; l'assenza di vento rallenta il processo di raffreddamento e pertanto allarga la finestra temporale a disposizione per svolgere una corretta compattazione.

Attualmente è in fase di studio l'utilizzo in ambito aeroportuale di conglomerati bituminosi "tiepidi", il cosiddetto WMA – Warm Mix Asphalt, il quale prevede temperature di lavorazione e stesa di circa 40°C inferiori rispetto a quelle del tradizionale HMA. La tecnologia, oggi applicata in ambito stradale, consente di realizzare conglomerato bituminoso a minor impatto sull'ambiente e a minori costi grazie alla minore energia necessaria per raggiungere la temperatura prevista.

9.6.2. Realizzazione di strati e/o lastre in calcestruzzo

Sebbene nell'aeroporto oggetto di studio non si registrano periodi climatici con temperature prossime a 0 °C è comunque possibile il verificarsi di brevi periodi con temperature al di sotto della media.

Pertanto, anche per quanto concerne la realizzazione di strati o lastre in calcestruzzo, è necessario, oltre alle normali pratiche di buona esecuzione, individuare specifiche tecniche e adottare accorgimenti nella fase di costruzione affinché sia garantita la buona riuscita delle lavorazioni qualora si debba effettuare interventi manutentivi da tempo programmati e ormai inderogabili in tali condizioni. Come illustrato dall'analisi meteo-movimenti, può rendersi opportuno effettuare interventi manutentivi in condizioni climatiche non ottimali. In tal caso occorre seguire alcune considerazioni:

- Incrementare la percentuale di cemento nella miscela;
- Limitare o evitare l'utilizzo di scorie d'altoforno, ceneri volanti e pozzolana; qualora ciò non fosse possibile valutare l'incremento della percentuale di cemento oppure ricorrere ad un cemento Tipo III in sostituzione del Tipo I/II;
- Valutare il possibile ricorso all'incremento di temperatura dell'acqua d'impasto senza comunque superare i 60 °C;
- Per effetto del maggior tempo di maturazione, è necessario adottare accorgimenti per evitare fessurazioni da ritiro plastico, le quali si possono verificare specialmente con la temperatura della miscela è maggiore di quella ambiente o in presenza di vento;
- Valutare il ricorso all'utilizzo di additivi acceleranti per raggiungere anticipatamente le capacità meccaniche ricercate;
- Assicurare una temperatura della miscela superiore a 10 °C, anche per le 72 ore successive;
- Evitare getti di calcestruzzo qualora la temperatura dell'aria o la temperatura del piano di posa siano inferiori a 4 °C;
- In caso di probabili gelate notturne, provvedere ad un'adeguata protezione del calcestruzzo;
- Valutare attentamente la maturazione per individuare la finestra temporale ottimale all'esecuzione di giunti;
- Valutare le capacità meccaniche attraverso prove non distruttive o l'analisi di campioni prelevati *in situ* prima dell'apertura al traffico di aeromobili [50].

9.7. Modello di decadimento

Come evidenziato nell'analisi delle problematiche riscontrate, per avere una buona attendibilità dei modelli di decadimento è necessario disporre di ampio e affidabile quantitativo di dati storici. Tuttavia, nel caso dell'Aeroporto di Olbia, è emersa la carenza o esiguità degli stessi. Per tale motivo la scelta del modello previsionale è ricaduta su modelli di regressione di tipo lineare (*straight line*), in modo da consentire una prima implementazione dell'APMS, lasciando comunque spazio a future correzioni e miglioramenti. Per analoghi motivi, l'arco temporale di riferimento è stato limitato a 10 anni, ossia all'intervallo di anni intercorrente tra 2014 e 2023.

Nello specifico caso trattato, quale indicatore di stato per la definizione degli scenari di intervento a livello di network level è stato individuato l'indice PCI – Pavement Condition Index, valutato secondo la norma ASTM D5340-12 “Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys”. Disponendo di uno storico di indagini relativo all'indice PCI dell'anno 2014, ho ritenuto opportuno assegnare tale valore ad ognuna delle sezioni omogenee precedentemente individuate. Inoltre, sulla base dell'analisi statistica condotta relativa alla distribuzione di traffico all'interno dell'intera area di movimento e dall'analisi generale dei risultati di PCI relativi alle *sample units* valutate, ho individuato due differenti indici di decadimento annuale, in virtù del fatto che la sovrastruttura ha, per sua natura, una componente di decadimento prestazionale dovuta a invecchiamento e una dovuta a fatica. La distinzione ha portato ad individuare un indice di decadimento annuale minimo per quanto riguarda aree non soggette al transito di aeromobili (fatti salvi eventi inusuali) oppure utilizzate marginalmente mentre un indice di decadimento maggiore è stato individuato per quelle aree che sono soggette sia al normale invecchiamento della pavimentazione sia al decadimento dovuto alle sollecitazioni trasmesse dai carrelli degli aeromobili. Nello specifico è stato adottato un modello di decadimento con regressione lineare dato dalla formula:

$$PCI_{i(\text{anno-j})} = PCI_{i(2014)} - \beta_i(\text{anno-j} - 2014)$$

Dove:

i-esima sezione compresa tra 0,n

j-esimo anno compreso tra 2014, 2023.

$PCI_{i(\text{anno-j})}$ = PCI della i-esima sezione omogenea previsto per l'anno j-esimo;

$PCI_{i(2014)}$ = PCI della i-esima sezione omogenea ottenuto da indagini effettuate nell'anno 2014;

β_i = indice di decadimento della i-esima sezione così individuato:

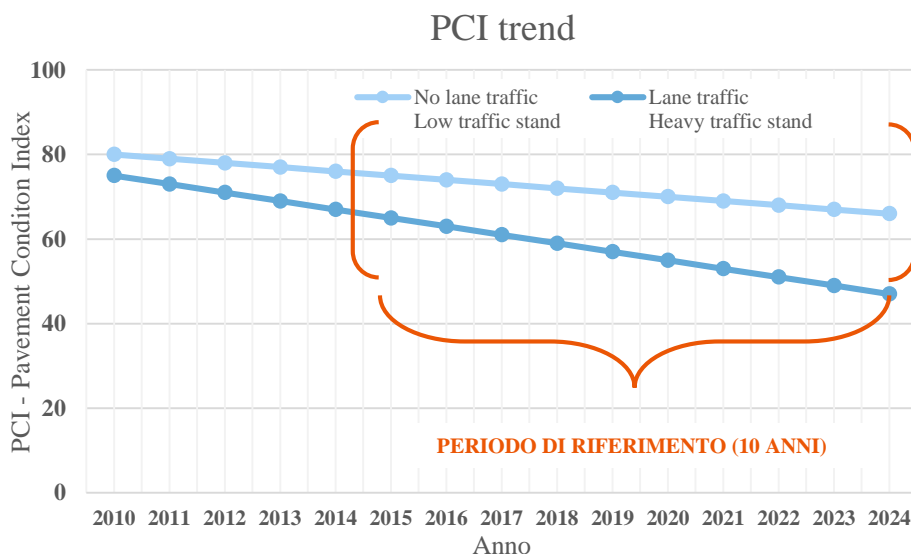
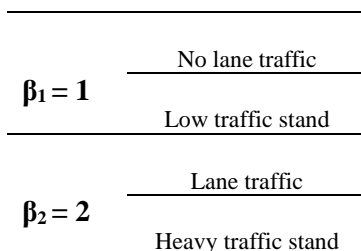


Immagine 51 – Sviluppo curva di decadimento “straight line”

9.8. Definizione livello gerarchico e concetto di “Priority level”

La difficoltà di disporre di adeguate risorse finanziarie per applicare strategie manutentive sulle sovrastrutture di volo rappresenta da sempre un ostacolo per l’operatore aeroportuale. L’introduzione di un sistema di gestione della pavimentazione e della relativa prioritizzazione degli interventi consente di individuare in maniera rapida le sezioni che richiedono maggiore attenzione e, di conseguenza, destinare loro il budget necessario per una riqualifica ottimale oltre a consentire il rilascio di un vero e proprio *feedback* relativo all’intervento svolto.

A seconda della tipologia di infrastruttura, sono diversi i fattori che possono concorrere nell’assegnazione delle priorità: indicatore prestazionale (PCI, IRI, aderenza, etc.), destinazione d’uso (runway, taxiway, apron), volume di traffico ed altri fattori che nella fase di implementazione sono ritenuti utili per la definizione delle priorità o che sono ritenuti peculiari. Il ricorso alla destinazione d’uso, intesa come classificazione funzionale, e al traffico annuale è spesso utilizzato nella fase di assegnazione delle gerarchie [51].

Tuttavia, la difficoltà di avere a disposizione un adeguato budget per il raggiungimento di un determinato livello prestazionale, unitamente alla necessità di garantire l'operatività, implica l'esigenza di destinare le risorse disponibili verso quei settori e quelle sezioni che divengono prioritarie in seguito alla fase di implementazione.

L'analisi di un aeroporto a traffico fortemente stagionale ha messo in evidenza la necessità di strutturare un APMS che sia in grado di assicurare un alto livello prestazionale soprattutto per quelle sezioni in grado di ricevere l'intero spettro di traffico caratteristico dello scalo in analisi. La capacità di accogliere un determinato spettro di traffico è data da fattori quali capacità portante, dimensioni geometriche, raggi di curvatura, strip, etc....

Il caso dell'Aeroporto di Olbia, attraverso l'analisi dell'organizzazione delle strutture di volo e del traffico, ha portato alla definizione di un livello gerarchico delle sovrastrutture che non solo tenga conto della destinazione d'uso del ramo considerato ma anche dell'importanza che esso riveste all'interno della gestione del flusso di aeromobili. Per definire la gerarchia è stato osservato il flusso di aeromobili all'interno dell'area di movimento, in misura tale da avere una distribuzione statistica affidabile, consentendo di individuare il loro reale utilizzo. Inoltre, sono state analizzate le caratteristiche dimensionali, funzionali e strutturali dello scalo per individuare i rami che possono accogliere l'intero spettro di traffico.

L'analisi dei dati storici a disposizione ha messo in evidenza la scarsa comparabilità degli stessi, pertanto, operando con l'obiettivo di implementare un sistema di gestione di semplice e immediato utilizzo, la scelta è stata orientata su un approccio basato sulla prioritizzazione degli interventi. Oltre all'utilizzo del PCI, per la definizione della gerarchia di interventi da realizzare, vengono utilizzati anche altri parametri che incidono sulla selezione degli interventi, che sono:

Tabella 32 – Indicatori adottati per la formazione del “Priority Level”

Indicatore	Indice
PCI – Pavement Condition Index	PCIw
Percentuale di traffico in partenza	TL%
Destinazione d'uso	DU
Livello funzionale	FL
Livello di utilizzo	LU
Indicatore strutturale	D1w

Per la realizzazione della lista di sezioni in virtù della priorità di intervento, ho stabilito di determinare un peso complessivo della singola sezione considerata dato dalla somma dei pesi:

$$PL(i_{section}) = PCIw + TL\% + DU + FL + TU + D1w$$

La priorità degli interventi sarà quindi definita scorrendo dal valore più alto al valore più basso i valori di *PL* ottenuti.

Per ognuno degli indicatori utilizzati ho valutato l'attribuzione di un peso relativo concorrente alla sommatoria relativa alla formazione del *PL* della *i*-esima sezione. A seconda dell'incidenza dei rispettivi indicatori, viene assegnato un valore compreso tra 1 e 10. In linea generale, tanto più basso è il livello prestazionale della pavimentazione o tanto più importante è la sezione considerata all'interno della gestione delle sovrastrutture, maggiore sarà il peso relativo della stessa. Di seguito sono illustrati i parametri individuati e l'attribuzione del peso relativo.

- **PCI**

Il primo parametro individuato è il PCI, indicatore dello stato superficiale. In questo caso il peso *PCI_w* sarà tanto maggiore quanto minore è il valore numerico rilevato in occasione dell'ultima campagna di indagini.

Tabella 33 – Assegnazione pesi relativi per valore PCI

Parametro	Valore PCI	PCI _w
Pavement Condition Index (ASTM D5340-11)	<39	10
	>39	8
	>49	6
	>59	4
	>69	2
	>79	0

Sulla base delle indagini svolte è stata redatta una tavola con indicazione dei diversi livelli di PCI individuati per l'assegnazione del relativo peso relativo.

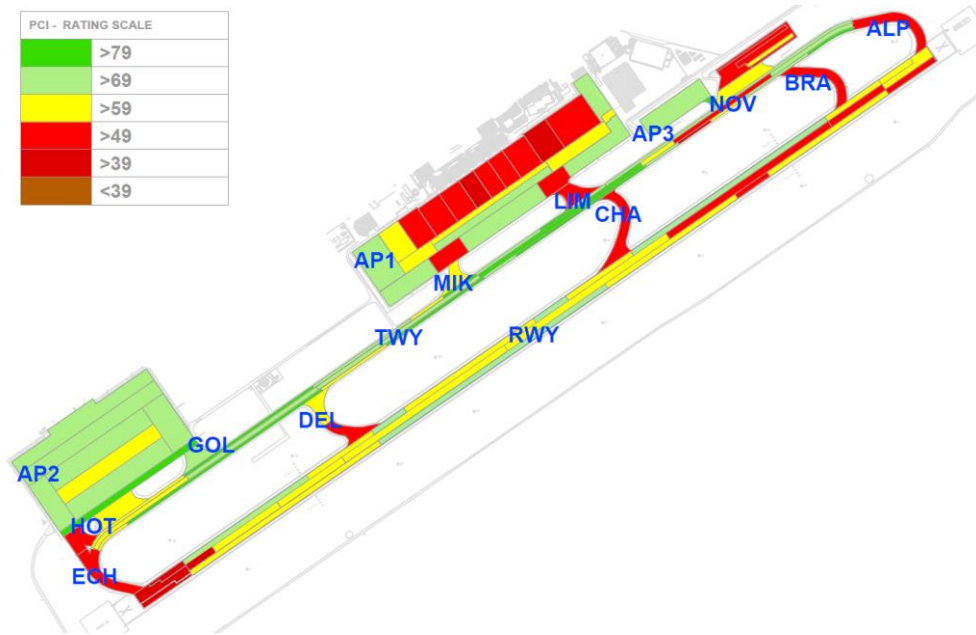


Immagine 52 – Color map sezioni omogenee sulla base del PCI

- **Percentuale di traffico**

Il livello di utilizzo di una determinata sezione indica l'importanza che la stessa riveste all'interno dell'organizzazione degli operatori e per la circolazione efficiente e sicura degli aeromobili in fase di manovra, pertanto tanto maggiore è l'utilizzo maggiore è il peso. Il rilevamento della percentuale di utilizzo del traffico in partenza è stato effettuato su un campione ritenuto rappresentativo.

Tabella 34 - Assegnazione pesi relativi per traffico in partenza rilevato

Parametro	%	TL%
Traffic outbound	>45	10
	>30	7
	>20	5
	>10	3
	>0	1

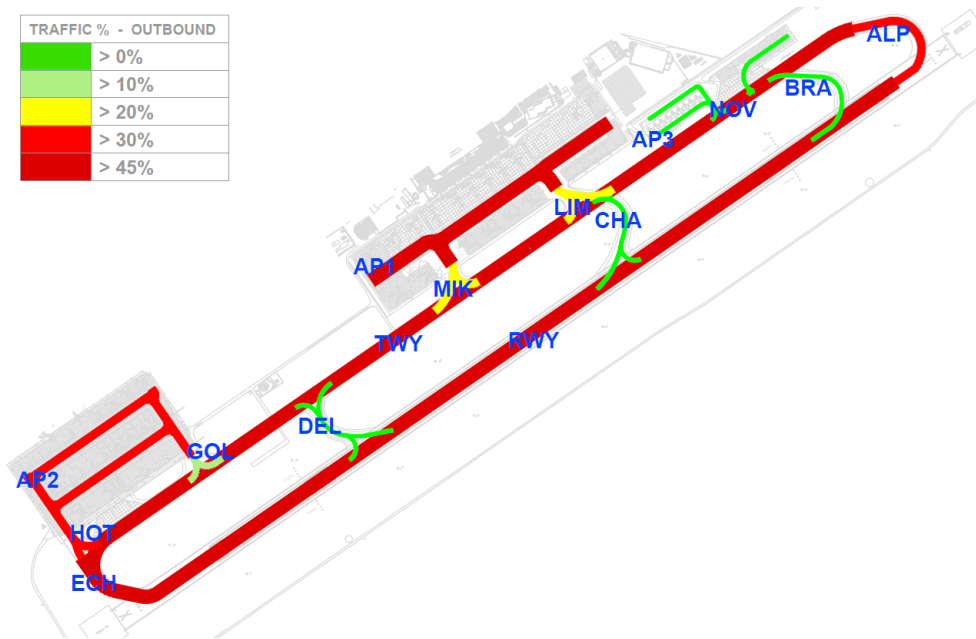


Immagine 53 - Color map sezioni omogenee sulla base del flusso di traffico in partenza

- Destinazione d'uso

La destinazione d'uso è stata principalmente suddivisa in 3 macroaree: Runway, Taxiways e Aprons. La circolazione degli aeromobili avviene comunque secondo ben definite traiettorie pertanto sono state individuate 2 differenti categorie relative rispettivamente a passaggio del carrello principale e porzione non interessata dal passaggio del carrello principale.

Tabella 35 - Assegnazione pesi relativi per destinazione d'uso

Parametro	Tipologia	DU	
Destinazione d'uso	Runway	Wheel path line	10
		Side line	6
	Taxiway	Wheel path line	8
		Side line	3
Apron		5	

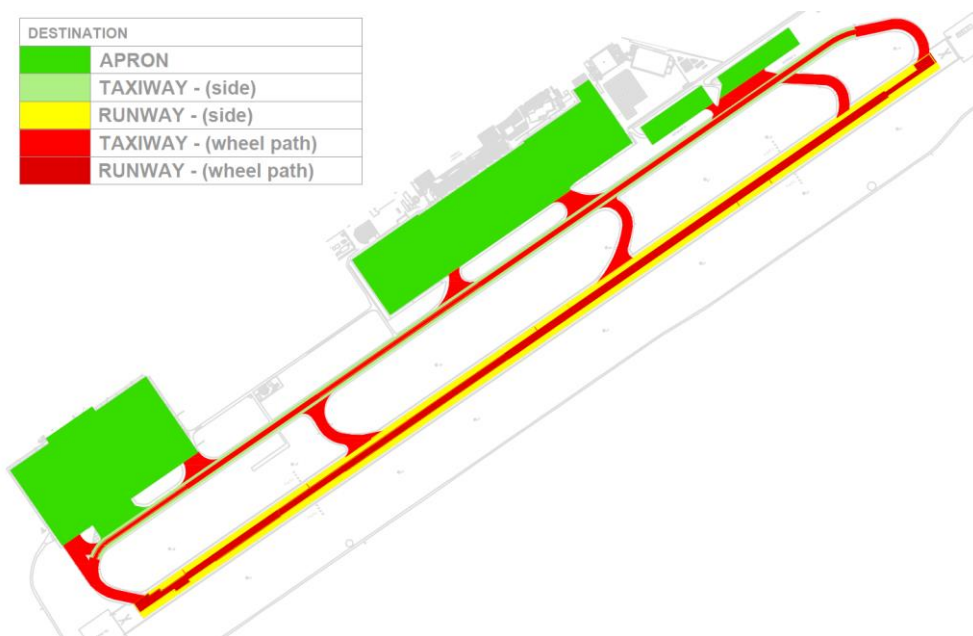


Immagine 54 - Color map sezioni omogenee sulla base della destinazione d'uso

- Livello funzionale

Il livello funzionale viene introdotto in questo lavoro con l'obiettivo di attribuire una gerarchia in relazione alla capacità di una sezione di accogliere un determinato spettro di traffico. Tale aspetto riveste particolare importanza in uno scalo fortemente stagionale. Durante la stagione di picco è importante garantire l'efficienza operativa di un determinato insieme di rami/sezioni al fine di evitare interruzioni o ritardi alle operazioni a terra degli aeromobili. Questa valutazione, a causa dei limiti di budget, deve necessariamente portare ad attribuire un peso inferiore a quelle sezioni che sono da ritenere meno importanti.

Tabella 36 - Assegnazione pesi relativi in funzione della classe ICAO consentita a transito e stazionamento

Parametro	Classificazione ICAO	FL
Livello funzionale	F	10
	D	7
	C	4
	B	1

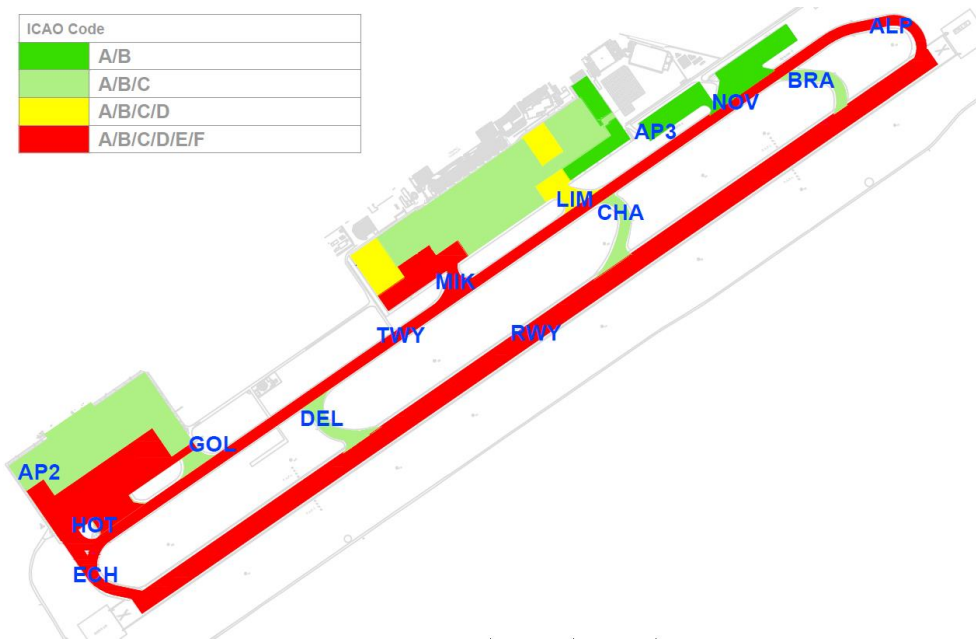


Immagine 55 - Color map sezioni omogenee sulla base del codice ICAO consentito

- **Frequenza di utilizzo**

La frequenza di utilizzo prevede l’attribuzione di un peso maggiore per le aree che, dall’analisi delle statistiche di circolazione e sosta degli aeromobili, risultano maggiormente utilizzate.

Tabella 37 - Assegnazione pesi relativi in funzione della frequenza di utilizzo

Parametro	Traffico - Intensità	TU
Intensità d’uso	Traffic lane – Heavy use stand	10
	No traffic lane – Low use stand	5

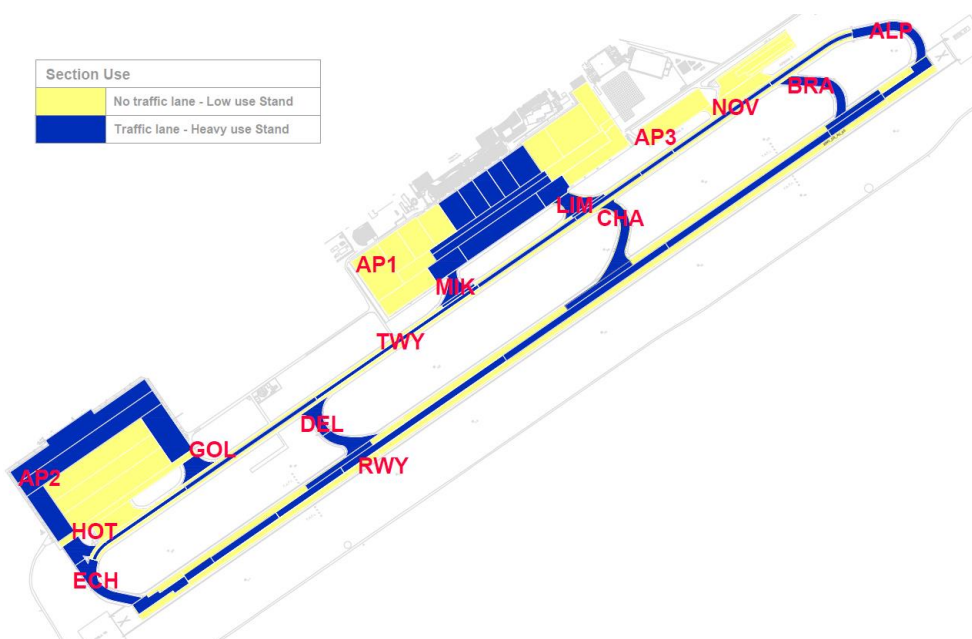


Immagine 56 - Color map sezioni omogenee in funzione della frequenza di utilizzo

- **Indicatore strutturale**

L'utilizzo del solo indice PCI per la valutazione del livello prestazionale della pavimentazione può dare informazioni che in alcuni casi possono condurre a valutazioni fuorvianti. Pertanto ho, dopo l'analisi dei dati disponibili e di quelli che sono più frequentemente utilizzati in ambito aeroportuale, individuato un indicatore di tipo strutturale quale ulteriore elemento per la valutazione del livello prestazionale al *Network Level*.

La scelta ricaduta sul valore di deflessione massima rilevata, dopo aver normalizzato tutti i valori al carico di riferimento *Reference Load* fissato pari a 150 kN.

Il valore di deflessione massima coincide con la deflessione misurata in corrispondenza del punto di carico della prova deflettometrica condotta con F/HWD. Nel caso studio sono state effettuate alcune considerazioni preliminari:

- La prima è stata quella di individuare, come ovvio, due tipologie di riferimento costituiti, rispettivamente, da pavimentazione flessibile e da pavimentazione rigida/semi-rigida;
- La seconda, relativamente a pavimentazioni di tipo rigido/semi-rigido, è stata quella di individuare nel valore di deflessione al centro della piastra la misura del livello prestazionale.

Concluse le valutazioni preliminari, l'attribuzione dei relativi pesi è stata effettuata seguendo il criterio di peso maggiore per deflessioni maggiori, corrispondenti a pavimentazione strutturalmente deficitaria. La deflessione risente di parametri quali condizioni di rilevamento e tipologia di

pavimentazione. In questo caso le condizioni di rilevamento, ossia temperatura dell'aria, temperatura della pavimentazione e livello di falda, si sono mantenute costanti durante l'indagine condotta. Dalle indagini mirate alla determinazione degli spessori di tutte le sovrastrutture è stato possibile definire un andamento pressoché costante degli spessori.

I valori di *benchmark* sono stati definiti sulla base di ricerche bibliografiche, di valutazioni mirate e studi condotti relativamente alla correlazione tra moduli dei diversi strati costituenti la pavimentazione e il bacino deflessione rilevato.

Tabella 38 - Assegnazione pesi relativi in funzione della deflessione massima

Parametro	Pavimentazione	D1* (µm)	D1w
Indicatore strutturale	Flessibile	<945	0
		<990	1
		<1125	4
		<1350	7
		>1350	10
	Rigida/Semirigida	<335	0
		<351	1
		<399	4
		<478	7
		>478	10

Terminata la fase di valutazione e assegnazione dei pesi relativi ad ogni sezione dell'intera sovrastruttura è stato quindi possibile ottenere il rispettivo indice *PL – Priority Level*.

Tabella 39 – Costruzione dell'elenco di priorità sulla base del metodo proposto

N.	Section	Type	Area(mq)	PCIw	D1w	TLw	DUw	FLw	Luw	PL
1	RWY_C_APC_01	APC	3487,50	10	10	10	10	10	10	60
12	RWY_C_AC_01	AC	1435,00	10	10	10	10	10	10	60
25	RWY_C_APC_02	APC	3360,00	6	10	10	10	10	10	56
18	RWY_C_AC_07	AC	2896,25	8	7	10	10	10	10	55
16	RWY_C_AC_05	AC	8750,00	4	10	10	10	10	10	54
32	ECH_C_AC_01	AC	5424,73	8	7	10	8	10	10	53
17	RWY_C_AC_06	AC	8750,00	6	7	10	10	10	10	53
14	RWY_C_AC_03	AC	3500,00	6	7	10	10	10	10	53
49	TWY_C_AC_07	AC	3150,00	6	7	10	8	10	10	51
15	RWY_C_AC_04	AC	8750,00	4	7	10	10	10	10	51
13	RWY_C_AC_02	AC	3500,00	4	7	10	10	10	10	51
69	AP1_C_AC_02	AC	3518,00	8	10	10	5	7	10	50
27	ALP_C_AC_01	AC	5177,00	8	7	7	8	10	10	50
48	TWY_C_AC_06	AC	1050,00	2	10	10	8	10	10	50
80	AP1_C_PCC_06	PCC	5076,00	8	10	10	5	4	10	47
45	TWY_C_AC_03	AC	5250,00	0	7	10	8	10	10	45
44	TWY_C_AC_02	AC	4200,00	0	7	10	8	10	10	45
47	TWY_C_AC_05	AC	2100,00	0	7	10	8	10	10	45
68	AP1_C_AC_01	AC	4274,91	8	1	10	5	10	10	44
83	AP1_C_PCC_09	PCC	3801,00	8	7	10	5	4	10	44
64	MIK_C_AC_01	AC	2555,51	4	7	5	8	10	10	44

62	HOT_C_AC_01		AC	3171,00	8	0	7	8	10	10	43
43	TWY_C_AC_01		AC	3150,00	4	0	10	8	10	10	42
65	LIM_C_AC_01		AC	3305,00	8	1	7	8	7	10	41
2	RWY_SX_PCC_01		PCC	1350,00	10	0	10	6	10	5	41
3	RWY_DX_PCC_01		PCC	1912,50	10	0	10	6	10	5	41
82	AP1_C_PCC_08		PCC	3801,00	8	4	10	5	4	10	41
73	AP1_C_AC_06		AC	7100,00	6	0	10	5	10	10	41
98	AP2_C_PCC_08		PCC	5338,54	4	10	7	5	10	5	41
72	AP1_C_AC_05		AC	4970,00	4	1	10	5	10	10	40
11	RWY_SX_AC_08		AC	2317,00	4	0	10	6	10	10	40
9	RWY_SX_AC_06		AC	2800,00	4	0	10	6	10	10	40
5	RWY_SX_AC_02		AC	2800,00	4	0	10	6	10	10	40
46	TWY_C_AC_04		AC	3150,00	0	1	10	8	10	10	39
81	AP1_C_PCC_07		PCC	3801,00	10	0	10	5	4	10	39
28	BRA_C_AC_01		AC	4845,00	6	10	1	8	4	10	39
58	TWY_DX_AC_08		AC	700,00	10	0	10	3	10	5	38
30	DEL_C_AC_01		AC	3366,23	8	7	1	8	4	10	38
50	TWY_C_AC_08		AC	2625,00	0	0	10	8	10	10	38
85	AP1_C_PCC_11		PCC	6013,00	10	0	10	5	7	5	37
26	RWY_DX_PCC_02		PCC	2250,00	6	0	10	6	10	5	37
22	RWY_DX_AC_04		AC	1400,00	6	0	10	6	10	5	37
84	AP1_C_PCC_10		PCC	5652,00	6	1	10	5	4	10	36
86	AP1_C_PCC_12		PCC	9936,00	8	4	10	5	4	5	36
78	AP1_C_PCC_04		PCC	5298,60	8	4	10	5	4	5	36
29	CHA_C_AC_01		AC	5735,00	6	7	1	8	4	10	36
23	RWY_DX_AC_05		AC	5117,00	4	0	10	6	10	5	35
21	RWY_SX_AC_03		AC	5600,00	4	0	10	6	10	5	35
24	RWY_SX_PCC_02		PCC	1462,50	4	0	10	6	10	5	35
70	AP1_C_AC_03		AC	670,00	4	7	10	5	4	5	35
7	RWY_SX_AC_04		AC	5600,00	4	0	10	6	10	5	35
19	RWY_DX_AC_01		AC	8148,00	4	0	10	6	10	5	35
74	AP1_C_AC_07		AC	6121,00	4	7	10	5	4	5	35
51	TWY_DX_AC_01		AC	700,00	6	0	10	3	10	5	34
53	TWY_DX_AC_03		AC	1400,00	6	0	10	3	10	5	34
59	TWY_DX_AC_09		AC	700,00	6	0	10	3	10	5	34
31	DEL_C_AC_02		AC	2713,77	4	7	1	8	4	10	34
71	AP1_C_AC_04		AC	3400,00	4	0	10	5	10	5	34
6	RWY_SX_AC_03		AC	1400,00	2	0	10	6	10	5	33
20	RWY_DX_AC_02		AC	9800,00	2	0	10	6	10	5	33
4	RWY_SX_AC_01		AC	5348,00	2	0	10	6	10	5	33
79	AP1_C_PCC_05		PCC	5730,20	8	0	10	5	4	5	32
33	TWY_SX_AC_01		AC	2100,00	4	0	10	3	10	5	32
36	TWY_SX_AC_04		AC	700,00	4	0	10	3	10	5	32
40	TWY_SX_AC_08		AC	700,00	4	0	10	3	10	5	32
75	AP1_C_PCC_01		PCC	6750,00	2	0	10	5	10	5	32
92	AP2_C_PCC_03		PCC	7000,00	0	0	7	5	10	10	32
89	AP1_C_PCC_15		PCC	10800,00	2	0	10	5	4	10	31
10	RWY_SX_AC_07		AC	8400,00	0	0	10	6	10	5	31
8	RWY_SX_AC_05		AC	1400,00	0	0	10	6	10	5	31
38	TWY_SX_AC_06		AC	1400,00	2	0	10	3	10	5	30
55	TWY_DX_AC_05		AC	700,00	2	0	10	3	10	5	30
60	TWY_DX_AC_10		AC	1400,00	2	0	10	3	10	5	30
76	AP1_C_PCC_02		PCC	9800,00	0	0	10	5	10	5	30
94	AP2_C_PCC_05		PCC	12044,00	2	0	7	5	10	5	29
95	AP2_C_PCC_06		PCC	14966,00	2	0	7	5	10	5	29
77	AP1_C_PCC_03		PCC	5298,60	4	0	10	5	4	5	28
90	AP2_C_PCC_01		PCC	16654,16	2	0	7	5	4	10	28
57	TWY_DX_AC_07		AC	700,00	0	0	10	3	10	5	28
42	TWY_SX_AC_10		AC	2450,00	0	0	10	3	10	5	28
35	TWY_SX_AC_03		AC	2100,00	0	0	10	3	10	5	28
41	TWY_SX_AC_09		AC	2800,00	0	0	10	3	10	5	28

34	TWY_SX_AC_02		AC	2800,00	0	0	10	3	10	5	28
37	TWY_SX_AC_05		AC	700,00	0	0	10	3	10	5	28
39	TWY_SX_AC_07		AC	700,00	0	0	10	3	10	5	28
52	TWY_DX_AC_02		AC	4200,00	0	0	10	3	10	5	28
54	TWY_DX_AC_04		AC	2100,00	0	0	10	3	10	5	28
56	TWY_DX_AC_06		AC	2800,00	0	0	10	3	10	5	28
61	TWY_DX_AC_11		AC	1050,00	0	0	10	3	10	5	28
97	AP2_C_AC_01		AC	6452,77	0	0	7	5	10	5	27
96	AP2_C_PCC_07		PCC	9084,00	0	0	7	5	4	10	26
91	AP2_C_PCC_02		PCC	16570,00	0	0	7	5	4	10	26
63	GOL_C_AC_01		AC	2805,00	0	0	3	8	4	10	25
66	NOV_C_AC_01		AC	468,97	0	10	1	8	1	5	25
99	AP3_C_AC_01		AC	9562,89	0	10	1	5	1	5	22
67	NOV_C_PCC_01		PCC	4649,76	6	0	1	8	1	5	21
87	AP1_C_PCC_13		PCC	4867,00	0	0	10	5	1	5	21
93	AP2_C_PCC_04		PCC	14984,00	0	0	7	5	4	5	21
88	AP1_C_PCC_14		PCC	7460,83	0	0	10	5	1	5	21
100	AP3_C_AC_02		AC	4745,38	8	0	1	5	1	5	20
101	AP3_C_PCC_01		PCC	4552,74	6	0	1	5	1	5	18
102	AP3_C_PCC_02		PCC	1385,00	4	0	1	5	1	5	16

9.8.1.Efficacia del metodo proposto

Per valutare la validità del metodo di definizione del livello gerarchico presentato nel presente lavoro è stato effettuato un confronto “*cost-effectiveness*” tra l’efficacia relativa alla selezione degli interventi secondo la scala di priorità ricorrendo al solo utilizzo dell’indice PCI e l’efficacia relativa all’applicazione del metodo di definizione del livello gerarchico qui presentato.

Per la valutazione dell’efficacia sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- Area relativa al beneficio di PCI valutata partendo dal valore 65 (al quale è assegnato il valore minimo accettabile);
- Superficie totale delle sezioni omogenee considerate;
- Rapporto tra superficie con Livello Funzionale massimo (classe ICAO consentita fino a F) e superficie totale interessata;

Con l’obiettivo di validare il metodo proposto, l’efficacia dello stesso è stata valutata prendendo in considerazione diverse ipotesi di budget comprese tra 2M€ e 7M€.

I risultati ottenuti sono:

Tabella 40 – Cost-Effectiveness per la prioritizzazione secondo l'indice PCI

PCI (pre) [A]	BUDGET [B]	Area PCI [C]	AREA [D]	FL [E]	effectiveness (CxDxE) [F]	cost effectiveness (F/B)
63	€ 2150561	12,50	27576	0,32	111063	0,05
63	€ 2918157	17,38	43242	0,21	154385	0,05
63	€ 4038100	33,78	58673	0,15	300169	0,07
63	€ 4918712	38,78	69424	0,24	633311	0,13
63	€ 6183518	51,52	82922	0,36	1536915	0,25
63	€ 7175097	71,66	101857	0,31	2298647	0,32

Tabella 41 - Cost-Effectiveness per la prioritizzazione secondo il metodo proposto

PCI (pre) [A]	BUDGET [B]	Area PCI [C]	AREA [D]	FL [E]	effectiveness (CxDxE) [F]	cost effectiveness (F/B)
63	€ 1789607	4,30	25353	0,94	109047	0,08
63	€ 3104412	6,58	37603	0,86	247391	0,08
63	€ 3944072	9,38	53003	0,80	496908	0,13
63	€ 5100313	16,41	79374	0,84	1244660	0,24
63	€ 6053314	25,64	96327	0,88	2282254	0,38
63	€ 7090013	43,78	113795	0,83	4518951	0,64

L'analisi dei risultati mette in evidenza la maggiore efficacia del modello proposto, ottenendo sempre un maggiore valore di *cost-effectiveness*, il quale ha come obiettivo quello di concentrare e ottimizzare il budget disponibile verso le sezioni omogenee che durante lo studio iniziale dell'infrastruttura sono state ritenute rilevanti.

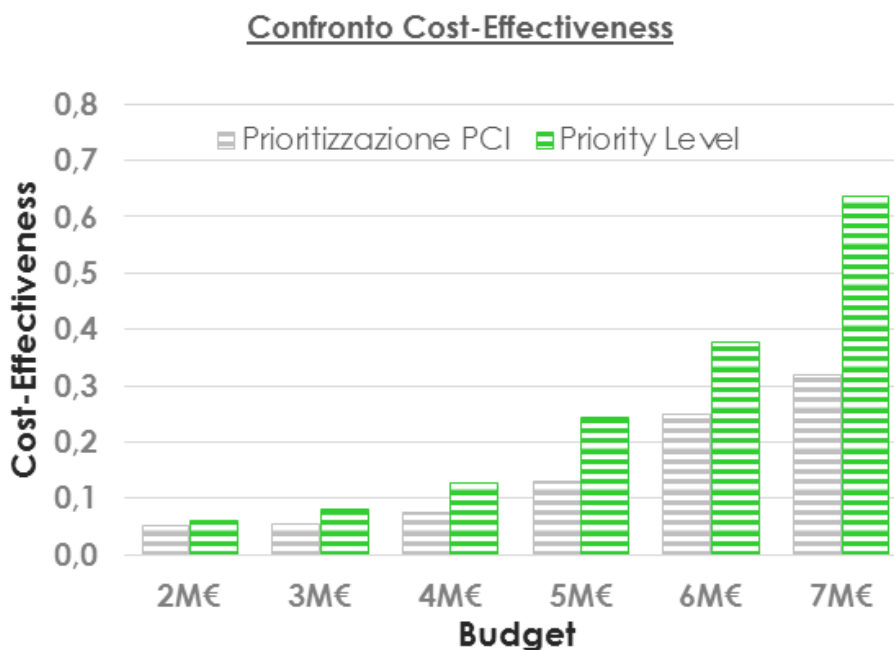


Immagine 57 – Confronto dell’efficacia *Cost-Effectiveness* tra metodo proposto e metodo PCI

Nello specifico, la differenza di valore di *cost-effectiveness* tra modello proposto e semplice prioritizzazione secondo valore di PCI aumenta proporzionalmente a seconda del budget individuato per l’analisi. Tale differenza è resa minima nel caso di budget ridotti a causa dell’influenza della tipologia costruttiva prevalentemente interessata e dei relativi costi di M&R ad esse correlate.

Per condurre una valutazione nel breve-medio termine sull’efficacia del metodo proposto ho quindi selezionato la condizione meno vantaggiosa per il metodo proposto, ossia quella che prevede un investimento di 2M€ annui, con l’obiettivo di raggiungere il valore soglia di PCI pari a 75..

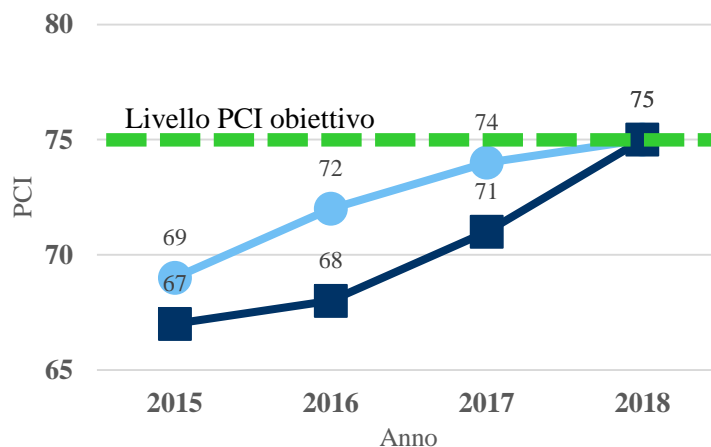


Immagine 58 – Simulazione PCI anni 2015-2018 secondo il budget assegnato

Procedendo con la simulazione dei due metodi secondo il budget assegnato, in entrambi i casi sono necessari 4 anni per raggiungere il PCI obiettivo.

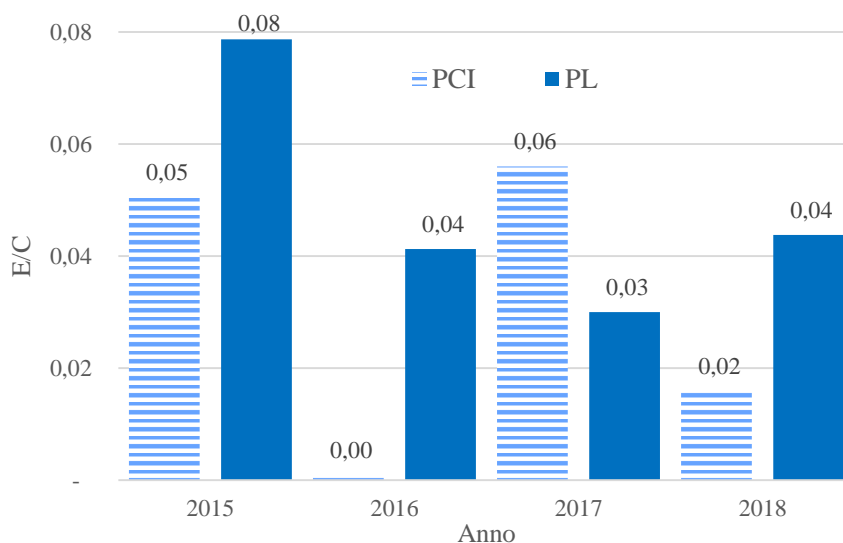


Immagine 59 – Grafico comparativo E/C anni 2015-2018 con budget assegnato

Il miglior utilizzo dei fondi, indicato da un complessivamente maggiore E/C nei 4 anni di simulazione, è dimostrato dalla maggiore area avente livello funzionale FL massimo, indicatore dell’importanza strategica della singola sezione omogenea analizzata. Di fatto, attraverso il metodo proposto è possibile avere il 18,2% in più di area avente FL massimo, ossia una migliore gestione dei fondi per assicurare l’operatività aeroportuale durante il periodo di picco.

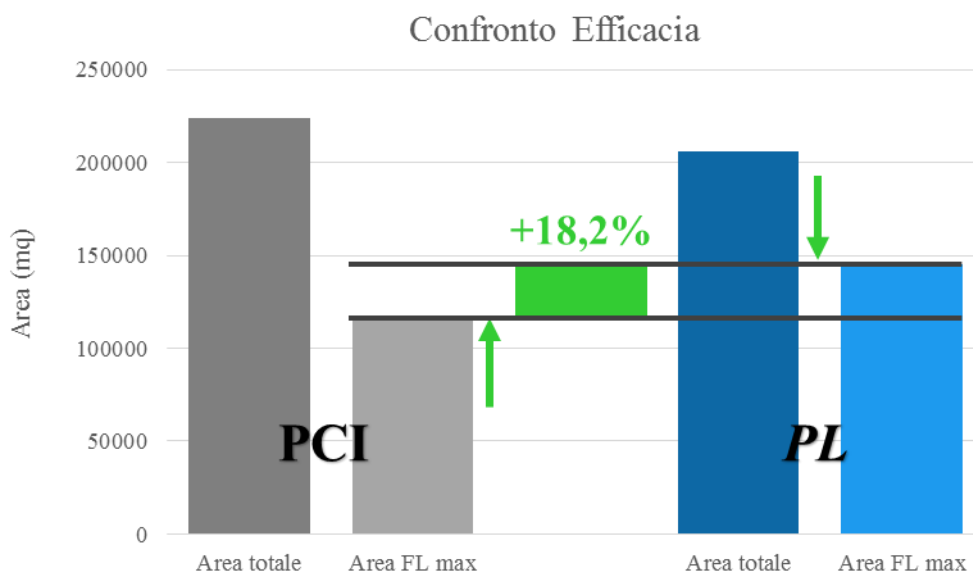


Immagine 60 – Confronto aree interessate con i due metodi utilizzati per la comparazione

10. Conclusioni

Nell'ambito dell'attività di gestione delle sovrastrutture, impianti e sistemi, al soggetto giuridico titolare di certificazione aeroportuale è affidata anche l'organizzazione di risorse e mezzi necessaria a garantire la funzionalità delle aree di movimento degli aeromobili. La conformità del complesso infrastrutturale ai requisiti previsti dall'attuale quadro normativo costituisce condizione necessaria per il mantenimento della certificazione. A tal fine è importante istituire un'attività coordinata di monitoraggio, pianificazione, programmazione e attuazione di interventi mirati ad assicurare un elevato livello prestazionale e la massima operatività aeroportuale. L'attuale quadro normativo nazionale ed internazionale impone il raggiungimento ed il mantenimento di determinati requisiti delle pavimentazioni, indicando pertanto la necessità di produrre uno strumento operativo finalizzato al controllo costante delle caratteristiche strutturali, di regolarità e di condizione superficiale, programmare interventi in funzione della disponibilità finanziaria nonché allo sviluppo di scenari nel medio-lungo termine.

L'implementazione di un APMS, affinché lo stesso soddisfi la politica del gestore, deve essere condotta in considerazione della specificità dello scalo, pertanto nella fase propedeutica è necessario analizzare dettagliatamente le peculiarità dello scalo. La ricerca è stata focalizzata sullo sviluppo di un PMS specificatamente studiato per aeroporti a forte stagionalità, ossia aeroporti che registrano una forte concentrazione di traffico durante la stagione di picco, fino ad oltre il 70%. Questa forte concentrazione determina l'esigenza da parte dell'operatore di evitare, o limitare al massimo, possibili interruzioni di operatività proprio nel periodo di picco così da massimizzare gli introiti economici, a differenza di scali con traffico uniformemente distribuito durante tutto l'anno, e quindi con introiti di gestione ripartiti durante l'anno.

L'obiettivo della mia ricerca è stato quello di individuare le problematiche che comporta l'elevata stagionalità di un aeroporto e, una volta inquadrata necessità ed esigenze, ho studiato e validato delle linee guida che sono esplicitate nel presente lavoro. A tal fine ho individuato una sistema di raccolta dati sistematico, con eventuale possibilità di implementazione su software commerciale, definito un indicatore di stato, applicato una tecnica per la costruzione di un modello previsionale in assenza di uno storico dati consistente e affidabile, realizzato un catalogo dei dissesti utile alla definizione degli ammaloramenti riscontrati, individuato tecniche di intervento tra le quali anche di tipo localizzato urgente da porre in atto durante la stagione di picco e individuato i periodi dell'anno all'interno dei quali è possibile ottimizzare limitazioni di operatività e condizioni climatiche accettabili.

In primo luogo ho analizzato la struttura che compone un APMS individuandone le criticità relative all'applicazione su un aeroporto avente le caratteristiche oggetto di ricerca. In particolare ho evidenziato i benefici che conseguono dall'adozione di un programma di gestione, benché questo comporti l'incremento di risorse umane e finanziarie. Si tratta infatti di programmi per i quali è necessario effettuare valutazioni sull'effettivo beneficio che consegue dall'applicazione nel medio-lungo termine. Allo stesso tempo, ho dedicato una parte consistente della ricerca all'analisi degli indicatori di stato, la cui corretta applicazione consente la costruzione di scenari tecnico-economici tanto più affidabili quanto più le caratteristiche prestazionali e il relativo decadimento previsto sono precisi.

La metodologia seguita è stata quella di selezionare un aeroporto studio caratterizzato da elevata stagionalità, ossia l'Aeroporto Olbia "Costa Smeralda", ultimato ed entrato in esercizio nel 1976, analizzandone le particolarità e le criticità e ricercando gli obiettivi prefissati. A riguardo, la prevalenza delle aree pavimentate, composta da aree di manovra e piazzali di sosta, risente di un elevata vita di servizio, pari a circa quarant'anni, senza che siano disponibili dati relativi sia a indagini prestazionali sia a specifiche tecniche applicate a interventi di manutenzione o di riqualifica condotti prima dell'anno 2000. Per cui, nel caso trattato, ho affrontato anche la problematica relativa alla ridotta disponibilità di una banca dati che consenta un confronto prestazionale attraverso i diversi rilevamenti.

Relativamente al caso studio è stato quindi creato un database, avente il necessario livello di dettaglio per lo scopo della ricerca, sostanzialmente costituito da informazioni di tipo dimensionale, geometrico, prestazionale. Per il caso studio è stato quindi realizzato un network avente una superficie pavimentata e idonea alla circolazione degli aeromobili di oltre 450.000 m² costituita prevalentemente da pavimentazione flessibile e rigida. Successivamente sono stati individuati 15 settori, distinti per via della funzionalità degli stessi. In virtù delle caratteristiche PCI, spessori, tipologia e anno di realizzazione sono state individuate 102 sezioni omogenee contraddistinte, appunto, da caratteristiche simili. Sono state oggetto di analisi anche le condizioni climatiche del sito, focalizzando l'attenzione fondamentalmente su precipitazioni, temperature e vento. E' stato possibile anche condurre studi sull'influenza, non trascurabile nel caso specifico, della variazione del livello di falda, determinando la necessità di una generale revisione e riqualifica della rete di drenaggi.

Anche il traffico è stato oggetto di analisi approfondita, all'interno della quale ho valutato la tipologia di aeromobile che maggiormente interessa lo scalo, accertando una costante crescita del peso medio

dell'aeromobile. Nel caso dell'Aeroporto di Olbia, la stagione di picco coincide anche con un aumento esponenziale del traffico di Aviazione Generale, il quale si riflette in uno spettro di traffico eterogeneo per tipologia di aeromobili secondo la classificazione ICAO. In particolare l'Aeroporto di Olbia spicca per la sua stagionalità all'interno dei primi 30 aeroporti nazionali, avente un rapporto tra mese con picco massimo di passeggeri e mese con picco minimo di passeggeri pari a 12,5. Dall'analisi mensile ho potuto verificare la presenza di una stagione di picco compresa tra Giugno e Settembre con una percentuale superiore al 70% e la presenza di mesi "spalla", caratterizzati da traffico ridotto ma comunque sostenuto. Viceversa, nei mesi invernali si ha una decisa diminuzione di traffico con circa il 14% di traffico totale distribuito tra Novembre e Aprile.

Ultimata la fase di studio e realizzazione della banca dati, ho individuato gli indicatori di stato indispensabili per conoscere le prestazioni delle sovrastrutture di volo e da implementare all'interno di un APMS. Per avere un quadro generale completo è necessario conoscere le condizioni della pavimentazione sotto diversi aspetti quali quello superficiale, strutturale e di regolarità. A tal fine, anche facendo riferimento alle normative vigenti e raccomandazioni del settore, ho predisposto un programma di rilevamento delle caratteristiche con cadenza prestabilita. In questo modo ho ritenuto possibile l'acquisizione di dati in maniera univoca e sistematica al fine di consentire la facile lettura dei risultati e la comparabilità degli stessi nel lungo termine, permettendo la determinazione del decadimento prestazionale degli indicatori precedentemente stabiliti, e quindi una maggiore precisione degli scenari nel medio-lungo termine per via della maggiore affidabilità dei risultati delle curve di decadimento.

In considerazione delle caratteristiche dello scalo, sia in termini dimensionali che di traffico, e tenuto conto della necessità di evitare limitazioni della capacità operativa, siano esse dovute a manutenzione programmata o ad interventi manutentivi urgenti, ho proposto un modello di implementazione specifico per aeroporti stagionali, che prevede sostanzialmente la contemporanea applicazione di un'attività di monitoraggio proporzionale al traffico e la gestione di scenari nel medio-lungo termine valutata secondo budget prefissati. Diventa quindi preziosa l'attività svolta dall'operatore direttamente sul campo, il quale deve individuare con rapidità e certezza quanto riscontrato. Oltre all'attività di monitoraggio visivo sono rilevanti anche le indicazioni ottenute dalle indagini a frequenza prestabilita e pertanto le stesse dovranno focalizzare l'attenzione in particolare su analisi di tipo visivo, ossia indagini che consentono il preventivo riconoscimento di potenziali ammaloramenti e conseguente formazione di FOD. Il controllo continuo delle sovrastrutture, da svolgere in parallelo e a completamento delle procedure operative di ispezione condotte da una ben definita unità aziendale ai fini della sicurezza dell'area, è supportato da un catalogo dei dissesti

redatto per consentire la definizione della tipologia e severità degli ammaloramenti, qualora riscontrati, e conseguente applicazione di tecniche di intervento, aventi specifiche esecutive definite all'interno del catalogo dei ripristini. Nel caso particolare dell'Aeroporto di Olbia ho ritenuto opportuno definire alcune tecniche di intervento rapido in grado di confinare eventuali ammaloramenti riscontrati durante la stagione di picco e rinviare interventi più importanti e risolutivi a periodi più favorevoli.

Basandomi sulle caratteristiche climatiche e dello spettro mensile di traffico, ho condotto uno studio sull'ottimizzazione dei periodi per l'esecuzione di interventi manutentivi in larga scala. Di fatto, tenuto conto della necessità di garantire l'operatività aeroportuale, è necessario *destagionalizzare* le lavorazioni a periodi climaticamente meno favorevoli. Da ciò è nata l'esigenza di indicare determinate prescrizioni operative e specifiche sui materiali, da inserire all'interno di capitolati di progetto, affinché sia possibile raggiungere le caratteristiche ricercate.

Per la gestione degli scenari, grazie all'analisi dello specifico scalo, ho proposto e verificato positivamente un modello di attribuzione di priorità, definito Priority Level, nel quale, senza tralasciare le indicazioni provenienti dalle condizioni della sovrastruttura, ho individuato settori e/o sezioni omogenee strategicamente importanti per la gestione della circolazione a terra degli aeromobili. Si tratta di una tecnica, che grazie all'attribuzione di diversi pesi relativi ad ogni sezione omogenea in funzione di fattori che ho individuato nella fase di studio, consente un migliore utilizzo del budget disponibile.

In primo luogo è stato necessario selezionare un modello previsionale. Accertata la difficoltà per la definizione di curve di decadimento attendibili a causa della incomparabilità dei dati, la scelta è stata quella di individuare un unico indicatore, il PCI – Pavement Condition Index, per poter procedere alla realizzazione di scenari nel medio-lungo termine. Si tratta di un indicatore ampiamente utilizzato sia ambito stradale che aeroportuale e pertanto supportato da un'ampia letteratura in materia. Disponendo dei soli rilevamenti condotti nell'anno 2013 ho assegnato ad ogni sezione omogenea in rispettivo valore PCI e adottato un modello di regressione di tipo lineare con possibilità di effettuare correzioni in futuro, limitando l'arco di tempo analizzato e quindi interessato dall'analisi economica, a 10 anni. Nel presente lavoro ho ritenuto opportuno individuare due differenti famiglie di pavimentazione cui sono stati attribuiti diversi coefficienti di decremento annuo. Nello specifico, l'area di movimento deve essere idonea al transito degli aeromobili della categoria di riferimento dello scalo ma solo una parte della superficie pavimentata è sottoposta alle sollecitazioni legate a

transito e sosta e quindi aventi decadimento dovuto a fatica mentre la restante parte è fondamentalmente soggetta al solo invecchiamento.

Per una corretta allocazione delle risorse finanziarie è stato studiato un metodo di implementazione del livello gerarchico delle sovrastrutture che prescinde dal ricorso al solo indice PCI per l'assegnazione delle priorità d'intervento bensì è stato studiato e valutato un sistema di attribuzione di priorità basato su 6 differenti parametri, ossia PCI – Pavement Condition Index, distribuzione del traffico in partenza, destinazione d'uso, funzionalità, livello di utilizzo e indicatore strutturale. Per ogni sezione omogenea e per ogni parametro selezionato è stato riportato il peso relativo definito a monte e quindi è stato definito un elenco di sezioni aventi priorità in funzione dell'indice Priority Level calcolato.

Attraverso l'applicazione di una matrice di valutazione è possibile ottenere una gerarchia di interventi in funzione dell'operatività dell'aeroporto. Questa tecnica è finalizzata quindi ad assicurare un livello prestazionale maggiore per le sezioni omogenee strategicamente rilevanti per un aeroporto stagionale, la cui funzionalità dev'essere garantita anche tenendo in considerazione la tipologia di traffico nella stagione di picco.

Per ultimo ho condotto un valutazione dell'efficacia del metodo proposto effettuando un confronto Cost-Effectiveness tra l'indice che è possibile ottenere ricorrendo al solo utilizzo dell'indice PCI quale elemento discriminante e il metodo proposto nella mia ricerca. La comparazione è stata condotta per diversi livelli di budget per consentire una più ampia validazione. Il risultato ottenuto indica una migliore assegnazione delle risorse economiche grazie al ricorso della tecnica di prioritizzazione proposta.

Bibliografia

- [1] UNI - Ente Italiano di Normazione, *UNI 9910:1991 Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio.*, 1991.
- [2] ICAO, Annex 14 - Aerodromes - Volume I - Aerodrome Design and Operations, 2013.
- [3] ICAO - International Civil Aviation Organization, Doc 9137 AN/898 Airport Services Manual - Part 9 - Airport Maintenance Practices, ICAO, 1984.
- [4] M. Shahin, *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, 2005.
- [5] ICAO, «NEWS RELEASE - Strong Passenger Results and a Rebound for Freight Traffic in 2014,» ICAO - International Civil Aviation Organization, Montréal - CA, 2014.
- [6] Eurostat, «186/2014 - 4 December 2014 - Air passenger transport in the EU28,» Eurostat, 2014.
- [7] R. W. Hudson e R. Haas, «PROGRESS ASSESSMENT OF PMS,» in *8th International Conference on Managing Pavement Assets*, 2011.
- [8] W. Hudson, R. Haas e J. Zaniewski, *Modern Pavement Management*, Malabar, Florida: Kreiger Press, 1994.
- [9] F. - F. A. Administration, «FAA PAVEAIR,» in *FAA PAVEAIR Workshop*, Pisa, 2014.
- [10] FAA - Federal Aviation Administration, «AC 150/5380-7B - Airport Pavement Management Program,» FAA, 2014.
- [11] J. Hajek, J. W. Hall e D. K. Hein, «ACRP Syntesis 22 - Common Airport Pavement Maintenance Practices,» AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM, 2011.
- [12] ENAC - Ente Nazionale Aviazione Civile, «BOZZA CIRCOLARE ENAC APT-APMS - Certificazione del processo di gestione della manutenzione delle pavimentazioni aeroportuali - Implementazione dell'APMS (Airport Pavement Management System),» 2012.
- [13] M. Crispino, «Presentazione e contenuti circolare APT PMS,» Milano , 2012.
- [14] S. Tighe e M. Covalt, «Implementation of an Airport Pavement Management System,» Transportation Research Board, Washington, DC, 2008.
- [15] AASHTO, «AASHTO Guide for Design of Pavement Structures,» AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
- [16] A. Wolters, K. Zimmermann, K. Schattler e A. Rietgraf, «Implementing Pavement Management Systems for Local Agencies,» Illinois Center for Transportation, 2011.
- [17] G. W. Flintsch, R. Dymond e J. Collura, «NCHRP Synthesis 335 - Pavement Management Applications Using Geographic Information Systems,» TRB, Washington, D.C., 2004.
- [18] P. Di Mascio, L. Domenichini e A. Ranzo, *Infrastrutture aeroportuali*, Roma: Edizioni Ingegneria 2000, 2009.
- [19] FAA - Federal Aviation Administration, «AC 150_5380_9 - Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness,» FAA - Federal Aviation Administration, Washington, DC, 2009.
- [20] Boeing Commercial Airplane Group, «D6-81746 Runway Roughness Measurement, Quantification, and Application - The Boeing Method,» Boeing Commercial Airplane Group Airport Technology Organization.
- [21] J. Hall, K. Smith, L. Titus-Glover, J. Wambold, T. Yager e Z. Rado, NCHRP 108 - Guide for Pavement Friction, National Cooperative Highway Research Program, 2009.
- [22] J. Henry, NCHRP Syntesis 291 - Evaluation of Pavement Friction Characteristics, National Cooperative Highway Research Program, 2000.
- [23] PIARC, International PIARC experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurements, 1995.

- [24] ICAO - International Civil Aviation Organization, «DOC 9137 AN/898 Airport Services Manual - Part 2 - Pavement Surface Conditions,» ICAO, 2002.
- [25] C. A. Boeing, «Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. 1959-2011,» 2012.
- [26] ENAC, Rilevazione dei valori di aderenza delle piste di volo in presenza di acqua, ENAC, 2001.
- [27] FAA - Federal Aviation Administration, «AC 150/5320-12C,» FAA, 1997.
- [28] U. Sandberg, Influence of road surface texture on traffic characteristics related to environment, economy and safety: a state-of-the-art study regarding measures and measuring methods, Swedish National Road and Transport Research Institute, 1998.
- [29] C. Wallman e H. Astrom, Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety, Swedish National Road and Transport Research Institute, 2001.
- [30] P. Jayawickrama e B. Thomas, Correction of Field Skid Measurement for Seasonal Variations in Texas, Transportation Research Board 1639: 147-152, 1998.
- [31] Toan, Runway friction performance in NZ, 2008.
- [32] Comfort, Wet Runway Friction: Literature and Information Review, Transportation Development Centre, 2001.
- [33] G. Flintsch, K. McGhee, E. de Leòn Izeppi e S. Najafi, The Little Book of Tire Pavement Friction, Pavement Surface Properties Consortium, 2012.
- [34] P. Ullidtz, W. Zhang e S. Baltzer, Validation of Pavement Response and performance models, 2000.
- [35] R. Carvalho, R. Stubstad, R. Briggs, O. Selezneva, E. Mustafa e A. Ramachandran, Simplified Techniques for Evaluation and Interpretation of Pavement Deflections for Network-Level Analysis, 2012.
- [36] P. Donovan e E. Tutumluer, «Use of Falling Weight Deflectometer testing to determine relative damage in asphalt pavement unbound aggregate layers,» 2009.
- [37] R. Haas, «Principles and Applications of Pavement Management,» Singapore, 1995.
- [38] D. Paine, «The incorporation of structural data in a pavement management system,» 4th International Conference on Managing Pavements, 1998.
- [39] R. C. Briggs e E. O. Lukanen, Variations in Backcalculated Pavement Layer Moduli in LTPP Seasonal Monitoring Sites, ASTM, 2000.
- [40] N. . I. Hadi, R. Papa e Y. Wang, «Understanding Pittsburgh International Airport's Pavement Management Program,» Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 2010.
- [41] I. ASTM D5340, «Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys,» ASTM, West Conshohocken, PA, USA, 2012.
- [42] FAA - Federal Aviation Administration, AC 150/5380-6B - Guidelines and procedures for maintenance of airport pavements, Washington, DC, USA: FAA, 2007.
- [43] E. D. S. Aeroporti, «Dati di Traffico 2013,» ENAC, 2013.
- [44] FAA - Federal Aviation Administration, «AC 150/5210-24 - Airport Foreign Object Debris,» Federal Aviation Administration, 2010.
- [45] UNI - Ente Italiano di Normazione, «UNI EN 13036-6:2008 Road and airfield surface characteristics. Test methods. Measurement of transverse and longitudinal profiles in the evenness and megatexture wavelength ranges,» 2008.
- [46] FAA - Federal Aviation Administration, «AC 150/5370-11B - Use of Nondestructive Testing in the Evaluation of Airport Pavements,» FAA - Federal Aviation Administration, Washington, DC, 2011.

- [47] I. Al-Qadi, S. Portas, M. Coni e S. Lahouar, «Runway Instrumentation and Response Measurements,» in *Transportation Research Board 89th Annual Meeting January 10-14, 2010*, Washington, D.C., 2010.
- [48] M. Bacchi e M. Crispino, «La tecnologia FBG per monitoraggio infrastrutturale,» *Strade & Autostrade*, n. 108, pp. 34-39, 2014.
- [49] FAA - Federal Aviation Administration, «AC 150/5320-17,» FAA, 2004.
- [50] American Concrete Institute, *ACI 306R-10 Guide to Cold Weather Concreting*, Farmington Hills, MI, USA: American Concrete Institute, 2010.
- [51] S. L. Tighe, M. Karim, A. Herring, K. Chee e M. Moughabghab, «Prioritization Methods for Effective Airport Pavement Management: A Canadian Case Study,» 2004.
- [52] Flexible Pavements of Ohio, «Cold Weather Paving,» *Technical Bulletin*, pp. 8-12, 2005.
- [53] ISO 132473-2:2002, «Characterization of pavement texture by use of surface profiles -- Part 2: Terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis,» International Organization for Standardization, 2002.

APPENDICE 1

APPENDICE 1

Caratteristiche Aeroporto Olbia “Costa Smeralda”

APPENDICE I**A. Dati sovrastruttura**

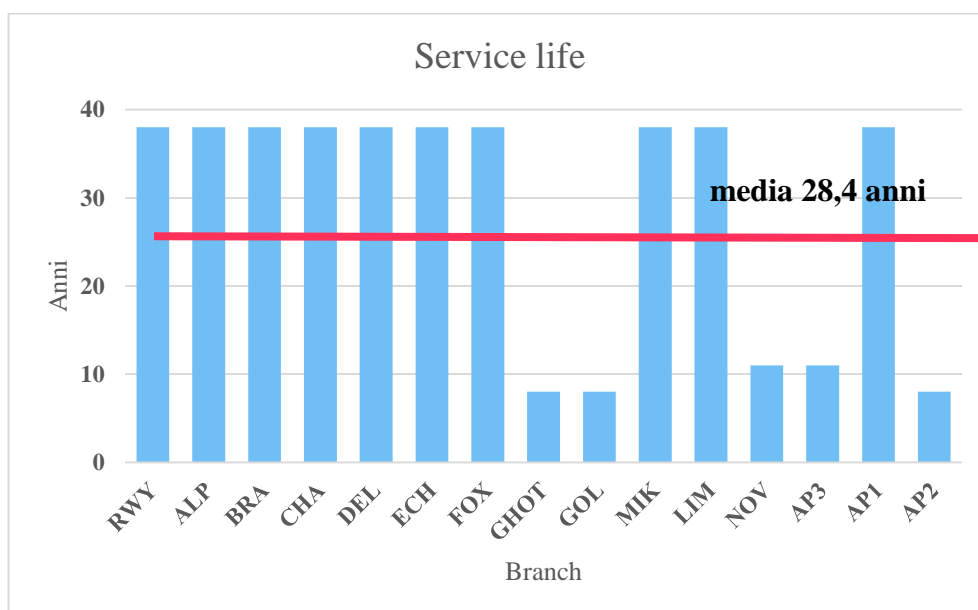
N.	Branch ID	Sovrastruttura	Pav. Rigida PCC (m ²)	Pav. Semirigida APC (m ²)	Pav. Flessibile AC (m ²)
1	RWY	PCC – APC – AC	6487,50	7012,50	96525,00
2	ALP	AC	-	-	7214,00
3	BRA	AC	-	-	4852,00
4	CHA	AC	-	-	5692,00
5	DEL	AC	-	-	6133,00
6	ECH	AC	-	-	5425,00
7	FOX	AC	-	-	53518,00
8	GHOT	AC	-	-	3198,00
9	GOL	AC	-	-	2805,00
10	MIK	AC	-	-	2555,00
11	LIM	AC	-	-	3470,00
12	NOV	PCC – AC	1059,00	-	4236,00
13	AP3	PCC – AC	4454,12	-	15791,88
14	AP1	PCC – AC	94392,00	-	29808,00
15	AP2	PCC – AC	100232,44	-	2045,56

AC Asphalt Concrete – APC Asphalt over Portland Concrete – PCC Portland Cement Concrete

APPENDICE I**B. Service life**

N.	Branch ID	Anno realizzazione	Service life (anni)	Manutenzione	
				Ordinaria	Straordinaria
1	RWY	1976	38	1998	-
2	ALP	1976	38	1997	-
3	BRA	1976	38	1998	-
4	CHA	1976	38	2001	-
5	DEL	1976	38	2001	-
6	ECH	1976	38	2006	-
7	FOX	1976	38	2001	-
8	HOT	2006	8	-	-
9	GOL	2006	8	-	-
10	MIK	1976	38	2001	-
11	LIM	1976	38	2001	-
12	NOV	2003	11	-	-
13	AP3	2003	11	-	-
14	AP1	1976	38	1999	-
15	AP2	2006	8	-	-

Average service life **28,4 anni**



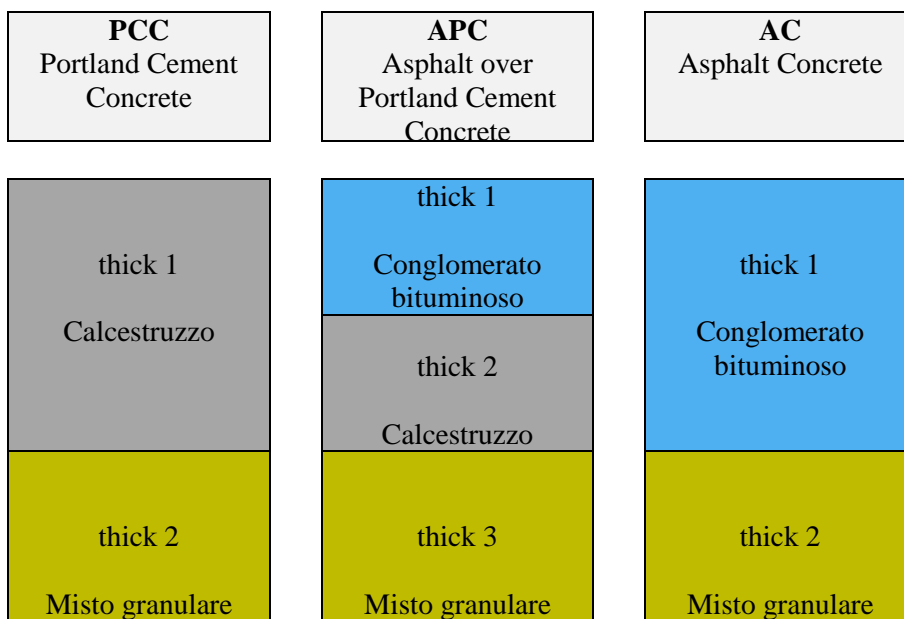
APPENDICE I**C. Dati sugli spessori:**

N.	Branch ID	Type	Total Area (mq)	Area (mq)	thick 1 (m)	volume 1 (mc)	thick 2 (m)	volume 2 (mc)	thick 3 (m)	volume 3 (mc)
1	RWY	- PCC	110 025,00	6 487,50	0,33	2 140,88	-	-	0,40	2 595,00
		- APC		7 012,50	0,05	350,63	0,28	1 963,50	0,40	2 805,00
		- AC		96 525,00	0,29	27 799,20	-	-	0,40	38 610,00
2	ALP	- PCC	7 214,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		7 214,00	0,26	1 875,64	-	-	0,40	2 885,60
3	BRA	- PCC	4 852,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		4 852,00	0,26	1 261,52	-	-	0,40	1 940,80
4	CHA	- PCC	5 692,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		5 692,00	0,26	1 457,15	-	-	0,40	2 276,80
5	DEL	- PCC	6 133,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		6 133,00	0,28	1 704,97	-	-	0,40	2 453,20
6	ECH	- PCC	5 425,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		5 425,00	0,28	1 529,85	-	-	0,40	2 170,00
7	FOX	- PCC	53 518,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		53 518,00	0,27	14 235,79	-	-	0,40	21 407,20
8	HOT	- PCC	3 198,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		3 198,00	0,20	628,41	-	-	0,40	1 279,20
9	GOL	- PCC	2 805,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		2 805,00	0,21	594,66	-	-	0,40	1 122,00
10	MIK	- PCC	2 555,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		2 555,00	0,29	735,84	-	-	0,40	1 022,00
11	LIM	- PCC	3 470,00	-	-	-	-	-	-	-
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		3 470,00	0,27	936,90	-	-	0,40	1 388,00
12	NOV	- PCC	5 295,00	1 059,00	0,25	264,75	-	-	0,40	423,60
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		4 236,00	0,13	550,68	-	-	0,40	1 694,40
13	AP3	- PCC	20 246,00	4 454,12	0,25	1 113,53	-	-	0,40	1 781,65
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		15 791,88	0,13	2 052,94	-	-	0,40	6 316,75
14	AP1	- PCC	124 200,00	94 392,00	0,33	31 149,36	-	-	0,40	37 756,80
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		29 808,00	0,22	6 557,76	-	-	0,40	11 923,20
15	AP2	- PCC	102 278,00	100 232,44	0,33	33 076,71	-	-	0,40	40 092,98
		- APC		-	-	-	-	-	-	-
		- AC		2 045,56	0,22	450,02	-	-	0,40	818,22
Totale			456 906,00							

DATI DI SPESSORE PREVENIENTI DA INDAGINI GEORADAR SVOLTE DALLA SOCIETA' RODECO (2013)

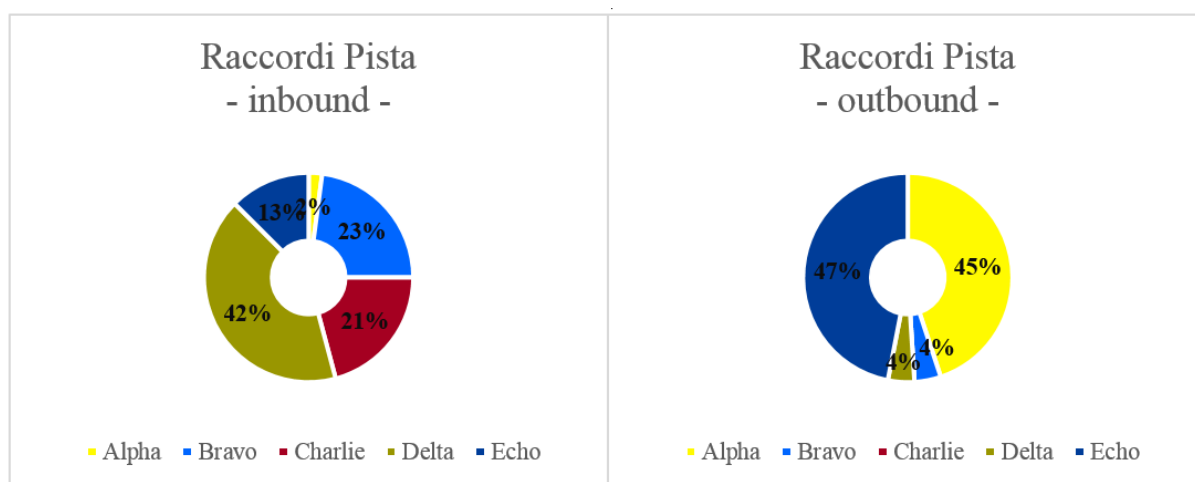
APPENDICE 1

Legenda



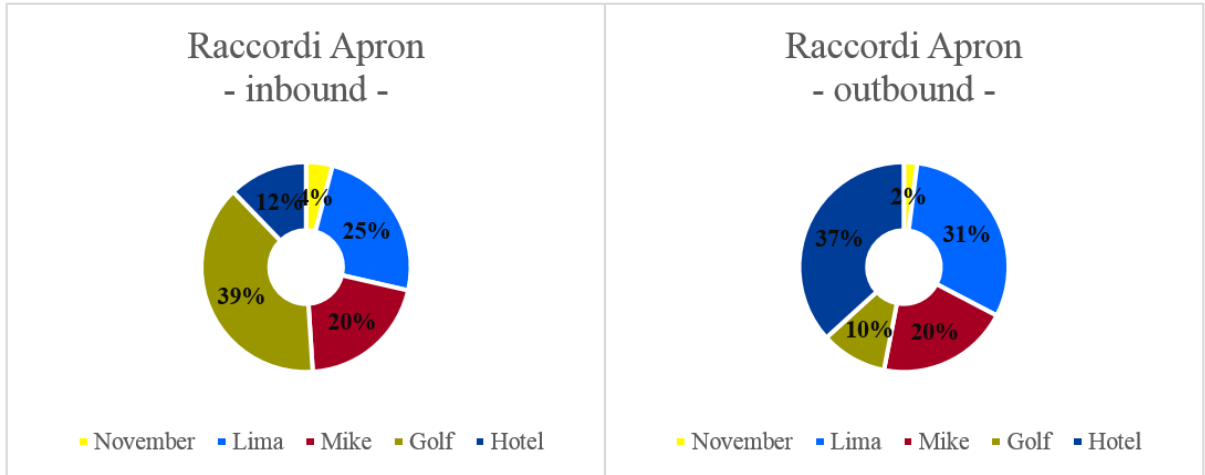
APPENDICE I**D. Osservazione distribuzione del traffico**

	RWY 05	RWY 23	Alpha	Bravo	Charlie	Delta	Echo
INBOUND	22	26	1	11	10	20	6
49	45%	53%	2%	22%	20%	41%	12%
OUTBOUND	25	24	22	2	0	2	23
51	49%	47%	43%	4%	0%	4%	45%
TOTALE	47	50	23	13	10	22	29
%	47%	50%	23%	13%	10%	22%	29%
CUMULATO	97%		97%				

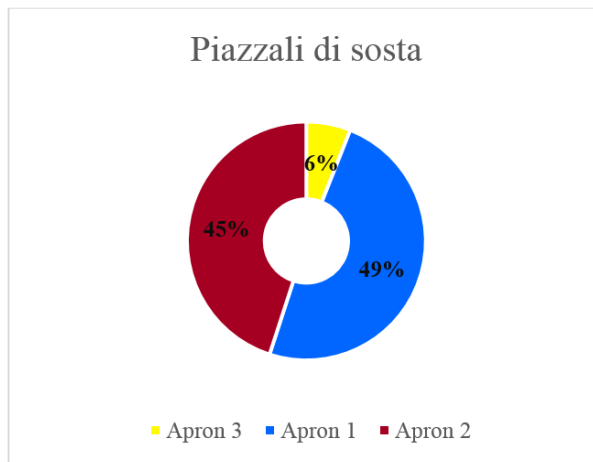


	Taxiway	November	Lima	Mike	Golf	Hotel
INBOUND	46	2	12	10	19	6
49	94%	4%	24%	20%	39%	12%
OUTBOUND	35	1	15	10	5	18
51	69%	2%	29%	20%	10%	35%
TOTALE	81	3	27	20	24	24
%	81%	3%	27%	20%	24%	24%
CUMULATO	81%	98%				

APPENDICE I





	Apron 3	Apron 1	Apron 2	Aviazione Civile	Aviazione Generale
INBOUND	2	23	24	22	27
49	4%	47%	49%	45%	55%
OUTBOUND	4	26	21	23	28
51	8%	51%	41%	45%	55%
TOTALE	6	49	45	45	55
%	6%	49%	45%	45%	55%
CUMULATO	100%			100%	



APPENDICE I

E. SCHEDA ISPEZIONE SOVRASTRUTTURE

		SCHEDA ISPEZIONE STRUTTURE DI VOLO					rev_01 agg_imm_aerea			
ID SCHEDA	ISP	n. progr.	gg	mm	aaaa	RILEVATORE				
										
DISSESTI RILEVATI						ID dissesti*				
						legenda				
n.	id*	note			estensione	severità	FOD	imm_db	pav. flessibile	pav. rigida
1									FA1 - Sgranamento superficiale	RA1 - Aggregato levigato
2									FA2 - Effetto Jet Blast	RA2 - Azione agenti contaminanti
3									FA3 - Aggregato levigato	RP1 - Fessure long., trasv., diagonali
4									FA4 - Rifiuimento del bitume	RP2 - Fessure angolari
5									FP1 - Fessure longitudinali e trasversali	RP3 - Fessure a rete
6									FP2 - Fessure da invecchiamento	RP4 - Pumping
7									FP3 - Cedimenti/sfondamenti	RP5 - Assestamenti
8									FP4 - Rigonfiamenti localizzati	RR1 - Fessure da invecchiamento
9									FR1 - Fessure a blocchi	RR2 - Microfessure
10									FR2 - Fessure riflesse da lastre	RR3 - Degrado giunti di dilatazione
11									FR3 - Fessure a mezzaluna	RR4 - Distacco sup. inerti/microfessure
12									FR4 - Rappezzi	RR5 - Rottura longitudinale giunto
13									FR5 - Ripristino fessure cavidotti	RR6 - Rottura angolare piastra
14									FR6 - Ormaiamento	RR7 - Rotture e sollevamenti
15									FR7 - Corrugazione	RR8 - Distacco di inerti
16									FR8 - Rotture tra pavimentazioni	RR9 - Rappezzi
nb severità: L/B - Low/Bassa M/M - Medium/Media H/A - High/Alta									-	-

APPENDICE 2

APPENDICE 2

Catalogo dissesti

CATALOGO DEI DISSESTI PER IL MONITORAGGIO E LA
SORVEGLIANZA DELLE STRUTTURE DI VOLO



APPENDICE 2

APPENDICE 2

APPENDICE 2	i
1. Premessa.	vi
2. Le pavimentazioni aeroportuali.	vii
3. ASTM D5340 Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys.	ix
4. Advisory Circular 150/5380-6B.	xi
5. Degradi relativi a pavimentazioni rigide.	xii
5.1. Fessure longitudinali, trasversali e diagonali – Longitudinal, Transverse, and Diagonal Cracks.	xiii
5.2. Fessure angolari – Corner Break.	xiv
5.3. Fessure da “invecchiamento” – Durability “D” cracking.	xv
5.4. Microfessure – Shrinkage Cracking.	xvi
5.5. Degrado dei giunti di dilatazione – Joint Seal Damage RC.	xvii
5.6. Distacco superficiale della malta, micro fessure – Scaling, Map Cracking and Crazing.	xviii
5.7. Rottura longitudinale del giunto – Joint Spalling.	xix
5.8. Rottura angolare della lastra – Corner Spalling.	xx
5.9. Fessurazioni a rete – Shattered Slab/Intersecting Cracks.	xxi
5.10. Rotture e sollevamenti – Blowups.	xxii
5.11. Distacco di inerti – Popouts.	xxiii
5.12. Rappezzi - Patching.	xxiv
5.13. Risalita di aggregato fine - Pumping.	xxv
5.14. Assestamenti – Settlement or Faulting.	xxvi
5.15. Aggregato levigato - Polished aggregates.	xxvii
5.16. Azione di agenti contaminanti - Contaminants.	xxviii
6. Degradi relativi a pavimentazioni flessibili.	xxix
6.1. Fessure longitudinali e trasversali – Long. and transv. cracking.	xxx
6.2. Fessure a blocchi – Block cracking.	xxxi
6.3. Fessure riflesse da discontinuità sottostanti – Joint reflection cracking.	xxxii
6.4. Fessure da invecchiamento – Alligator cracking.	xxxiii

APPENDICE 2

6.5. Fessure a mezzaluna - Slippage cracking.	xxxiv
6.6. Sgranamento superficiale - Raveling and Weathering.	xxxv
6.7. Effetto Jet Blast - Jet Blast Erosion.	xxxvi
6.8. Rappezzi - “Patching and Utility Cut Patch”.	xxxvii
6.9. Fessure di cavidotti presso center line – Center line joint electric circuit.	xxxviii
6.10. Ormaiamento – Rutting.	xxxix
6.11. Corrugazione – Corrugation.	xl
6.12. Rotture in prossimità dei giunti tra conglomerate bitumino e lastre in calcestruzzo armato - Shoving of asphalt pavement by PCC Slabs.	xli
6.13. Cedimenti/sfondamenti – Depression.	xlii
6.14. Rigonfiamenti localizzati - Swelling.	xliii
6.15. Aggregato levigato - Polished aggregate.	xliv
6.16. Rifluimento del bitume - Bleeding.	xlv
6.17. Sversamento di Olio/Carburante – Oil spillage.	xlvi

APPENDICE 2

1. Premessa.

All'interno del complesso sistema aeroportuale e della relativa gestione tecnico-economica, una componente importante degli investimenti è destinata alle infrastrutture di volo, ovvero al settore dell'air side destinato principalmente alla circolazione degli aeromobili e composto dai piazzali di sosta "apron", dalle vie di rullaggio "taxiway", dai raccordi e dalla pista di volo "runway". L'obiettivo degli addetti è quindi quello di definire i sistemi di monitoraggio, le tecniche d'intervento sia di tipo preventivo che manutentivo e l'allocatione di risorse economiche necessarie ad assicurare un ottimale livello prestazionale della sovrastruttura sotto il punto di vista strutturale e superficiale così da garantire la sicurezza delle operazioni sotto le diverse condizioni atmosferiche.

Il raggiungimento degli obiettivi e il mantenimento di determinati requisiti delle infrastrutture, forniti dal regolamento E.N.A.C. (Ente Nazionale Aviazione Civile) e dalle altre autorità di controllo, sia nazionali che internazionali, indicano la necessità di produrre uno strumento operativo finalizzato al monitoraggio continuo e ciclico delle caratteristiche strutturali e di regolarità e alla pianificazione di interventi mirati di manutenzione sulle pavimentazioni aeroportuali.

Queste considerazioni appaiono ancor più significative se si osserva che, negli ultimi anni, a causa della continua crescita della domanda di trasporto aereo, si sta moltiplicando il numero di scali aerei che hanno la necessità di ammodernare ed ampliare il proprio sedime aeroportuale. In molti casi, l'ampliamento delle infrastrutture di volo e di sosta degli aeromobili implica anche la necessità di riqualificare le aree esistenti che, ancorché deteriorate, vengono chiamate ad un nuovo ciclo di vita operativa.

Il mantenimento delle caratteristiche prestazionali di una sovrastruttura assume quindi sempre maggiore importanza e la finalità principale è quella di contenere entro certi limiti il naturale decadimento di un'opera durante la sua fase di esercizio proprio attraverso uno strutturato programma di manutenzione in grado di indicare le modalità di intervento migliori, nel momento esatto e con l'appropriato impegno finanziario.

Il sistema di gestione dovrà essere implementato anche tenendo in considerazione l'evoluzione del traffico aereo dello scalo sia sotto il punto di vista quantitativo, quindi attraverso il monitoraggio del numero di movimenti annui, sia sotto il punto di vista qualitativo, ovvero valutando la tipologia di aeromobili in transito e del relativo peso; questi fattori infatti possono influenzare significativamente i tempi di decadimento della sovrastruttura in quando inducono differenti stati tensionali alle infrastrutture di volo.

APPENDICE 2

2. Le pavimentazioni aeroportuali.

L'air side di un aeroporto è caratterizzato dalla presenza di due pavimentazioni differenti per tipologia di costruzione e per finalità d'uso: pavimentazioni di tipo *flessibile* e di tipo *rigido*. La prima è destinata al transito degli aeromobili e alle operazioni di decollo e atterraggio ed è costituita da un multistrato a spessore variabile composto da conglomerato bituminoso, il quale ha il compito di resistere alle sollecitazioni normali e tangenziali indotte dagli aeromobili in transito; alla stessa è richiesto un comportamento a flessione, trasmettendo gradualmente il peso del mezzo agli strati inferiori mentre il conglomerato bituminoso assicura un piano viabile regolare e la resistenza alle sollecitazioni tangenziali. La seconda tipologia è quella destinata a sostenere gli aeromobili in fase di sosta inducendo quindi sulla sovrastruttura un carico che si può considerare di tipo statico; la struttura di queste aree è costituita da uno strato di conglomerato cementizio armato opportunamente giuntato ed eventualmente fibrorinforzato. Questo tipo di pavimentazione ha la caratteristica di avere un elevato grado di rigidità assorbendo direttamente il carico gravante su di essa.

Oltre alle differenze citate in precedenza è necessario mettere in evidenza anche altre particolarità che contraddistinguono l'air side aeroportuale, ovvero:

entità del carico: in ambito aeroportuale vengono impiegati sistemi di trasmissione del peso dell'aeromobile alla pavimentazione che possono arrivare anche a superare le 24t, considerando anche che l'intervallo dei possibili carichi su ruota è molto ampio e variabile in virtù della diversa configurazione del carrello.

geometria del carico: riguarda la disposizione ed il numero delle ruote in un carrello. L'insieme di ruote di una gamba di forza, ai fini delle sollecitazioni indotte nella sovrastruttura, si assimila ad una ruota singola, su cui grava un carico che è certamente maggiore di quello spettante a ciascuna ruota del carrello.

pressione di gonfiaggio: parametro fondamentale poiché fornisce il carico specifico agente sull'area di contatto fra ruota e pavimentazione. In ambito stradale si può giungere fino a valori di 8 bar (0,8 MPa) per i veicoli pesanti, mentre nell'ambito aeroportuale questo quasi raddoppia a 1,5 MPa, per poi giungere nel caso di alcuni velivoli militari a valori di 2 MPa.

numero di passaggi: il numero orario massimo di manovre per pista si aggira attorno a 40÷50 operazioni, il che corrisponde a circa 10^4 ÷ 10^5 movimenti/anno.

APPENDICE 2

velocità di percorrenza: gli aeromobili in fase di rullaggio transitano sulle piste di collegamento con velocità ridotte circa 20-40 Km/h, rendendo il carico quasi statico, mentre transitano sulle piste di decollo fra i 100 e i 300 Km/h a seconda del modello di aeromobile, mentre assumono la tipologia di carico prettamente statico una volta arrivati presso lo stallo assegnato.

Si intuisce, quindi, quanto sia importante porre una particolare attenzione in ogni fase della costruzione di una sovrastruttura aeroportuale, iniziando da un adeguato dimensionamento e un'opportuna scelta dei materiali, fino alla realizzazione e successiva manutenzione.

APPENDICE 2

3. ASTM D5340 Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys.

La norma indica la procedura da effettuare per determinare la condizione di una sovrastruttura aeroportuale, sia per le parti realizzate in conglomerato bituminoso sia per le parti realizzate in calcestruzzo armato; il livello qualitativo della pavimentazione viene indicato attraverso l'indice P.C.I. (Pavement Condition Index), il quale attraverso un numero progressivo compreso tra 0 e 100, fornisce indicazioni sullo stato della pavimentazione.

La valutazione si basa sostanzialmente sulla valutazione visiva dell'addetto riguardo le condizioni della sovrastruttura; il procedimento di ponderazione consente in secondo luogo di definire l'indice P.C.I..

La fase iniziale consiste nella schematizzazione della sovrastruttura interessata attraverso la suddivisione in **rami**; la scelta dei settori viene effettuata in base alla funzionalità dell'area che può essere stabilita a seconda di parametri quali velocità di transito degli aeromobili, della tipologia di pavimentazione e altre valutazioni. I settori sono generalmente divisi tra runways, taxiways e aprons. Ogni settore viene poi suddiviso in **sezioni**; la suddivisione viene effettuata in considerazione della tipologia di pavimentazione esistente, tipologia di traffico (zona di toccata, di attesa, di transito, etc..). A loro volta le sezioni vengono frazionate in **unità di monitoraggio**. Il metodo del P.C.I. viene utilizzato per definire l'indice di ogni rispettiva unità semplice. Per definire l'indice relativo ad ogni sezione si applica un algoritmo illustrato nella normativa che consente di ottenere una media ponderata dell'indice.

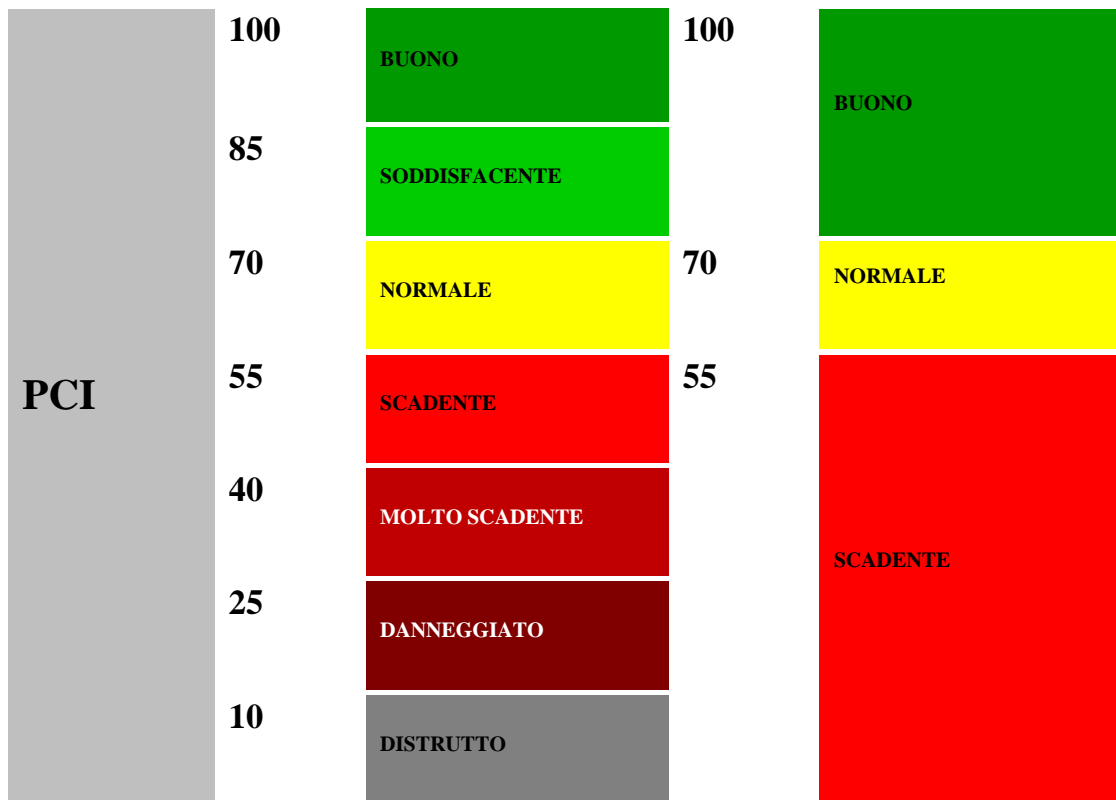
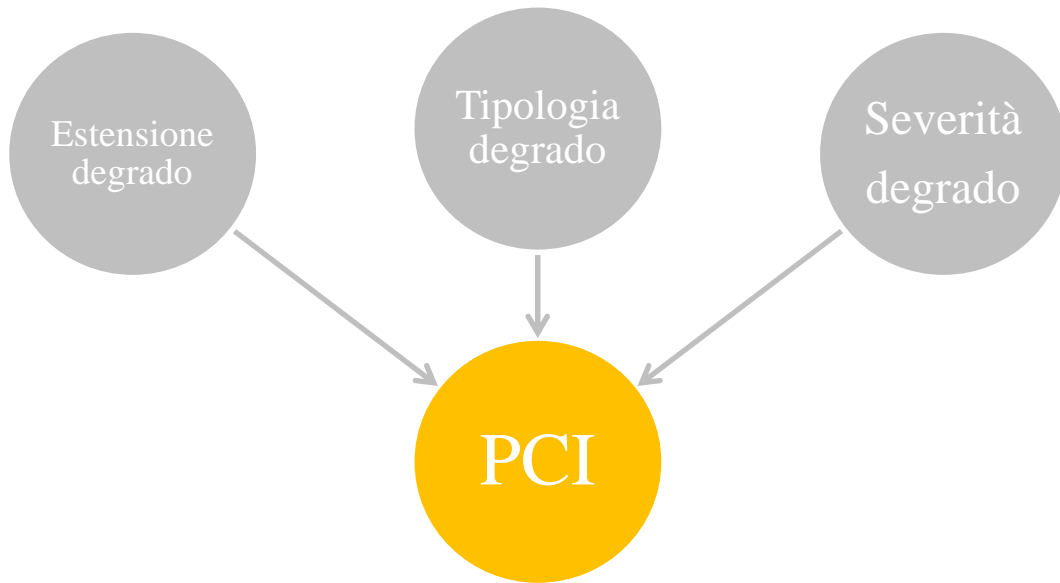
Dove:

PCI_{ri} = indice PCI dell'unità semplice random *i*-esima;

A_{ri} = Area dell'unità semplice random *i*-esima;

n = numero totale delle unità random.

APPENDICE 2



APPENDICE 2

4. Advisory Circular 150/5380-6B.

Il documento ha come fine principale la categorizzazione delle diverse tipologie di degrado caratteristiche di una pavimentazione soggetta alle azioni sollecitanti degli aeromobili, le quali possono essere di tipo normale, perpendicolari al piano viabile, oppure tangenziali, parallele al piano viabile; la classificazione dei degradi, unitamente all'assegnazione della relativa estensione e al grado di severità, consente di individuare una serie di azioni volte alla risoluzione dello specifico ammaloramento così da garantire il pieno recupero del livello prestazionale richiesto. La tipologia di degrado, sia per le pavimentazioni di tipo rigido che per quelle di tipo flessibile possono essere del tipo:

Reticolo di fessure - *Cracking*;

Degrado dei giunti di dilatazione - *Joint Seal Damage*;

Disgregazione del calcestruzzo - *Disintegration*;

Sfondamento della superficie - *Distortion*;

Perdita di aderenza superficiale - *Loss of skid resistance*.

APPENDICE 2**5. Degradi relativi a pavimentazioni rigide.**




ADERENZA		PORTANZA		REGOLARITA'	
R.A1	Aggregato levigato	R.P1	Fessure longitudinali, trasversali e diagonali	R.R1	Fessure da invecchiamento
R.A2	Azione di agenti contaminanti	R.P2	Fessure angolari	R.R2	Microfessure
		R.P3	Fessurazioni a rete	R.R3	Degrado dei giunti di dilatazione
		R.P4	Pumping	R.R4	Distacco superficiale di inerti, microfessure
		R.P5	Assestamenti	R.R5	Rottura longitudinale del giunto di dilatazione
				R.R6	Rottura angolare della piastra
				R.R7	Rotture e sollevamenti
				R.R8	Distacco di inerti
				R.R9	Rappezzi

APPENDICE 2

5.1. Fessure longitudinali, trasversali e diagonali – Longitudinal, Transverse, and Diagonal Cracks.

Area dissesto/ID	PORTANZA	R.P1
------------------	-----------------	-------------

La formazione del fenomeno è dovuto principalmente alla combinazione ripetuta di carichi che inducono contrazioni alla pavimentazione; la presenza di fessure con un livello di severità alto determina la suddivisione della lastra stessa in due o più porzioni. Fessure di piccola entità non sono da associare a problemi di tipo strutturale, mentre il livello di severità medio-alto è da associare ad un problema di tipo strutturale causato dalla non perfetta realizzazione dell’opera ovvero a insufficiente resistenza ai carichi applicati da parte degli strati costituenti la sovrastruttura.



Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	 <p>Le fessure sono di tipo superficiale e con apertura ≤ 3 mm; nessun rischio di formazione di FOD. La presenza delle stesse è tale da non dividere la lastra in più di 3 porzioni.</p>
MEDIO	
	 <p>L’apertura delle fessure in questo caso è compresa tra 3 mm e 25 mm. Il rischio di FOD è limitato. Nel caso di fessure precedentemente sigillate la condizione del sigillante non è soddisfacente.</p>
ALTO	
	 <p>Si ha la presenza di almeno una delle seguenti indicazioni: 1) la fessura ha raggiunto un’apertura maggiore a 25 mm; 2) è presente un elevato sgretolamento in prossimità delle fessure, siano esse sigillate o no; 3) si ha la presenza di più fessure che dividono la lastra in più porzioni delle quali almeno una con livello di severità alto.</p>

APPENDICE 2**5.2. Fessure angolari – Corner Break.**

Area dissesto/ID

PORTANZA**R.P2**

Si tratta di un fenomeno simile a quello relativo a fessure longitudinali e trasversali, ma nel caso in questione si contraddistinguono perché interessano le zone angolari delle lastre. La fessura si sviluppa diagonalmente interessando giunti perpendicolari tra di loro e partendo da una distanza non superiore a circa metà lunghezza del lato; infatti nel caso di interessamento di una porzione di lastra maggiore si tratterebbe di fessure diagonali. La causa predominante è insufficiente resistenza degli strati inferiori unita al ciclo di carichi applicati; lo sviluppo verticale interessa tutto lo spessore della lastra.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	<p>La fessura ha apertura ≤ 3 mm senza alcun rischio di formazione FOD. Nel caso di fessura sigillata questo deve essere in condizioni soddisfacenti senza cenni di invecchiamento. L'area interessata non presenta altre anomalie.</p>
MEDIO	
	<p>Si ha la presenza di almeno una delle seguenti indicazioni: 1) rischio di formazione FOD in prossimità di fessure anche sigillate; 2) l'apertura delle fessure è compresa tra 3 mm e 25 mm; 3) il sigillante inizia a mostrare dei segni di invecchiamento; 4) l'area compresa tra fessura principale e l'angolo della lastra presenta un reticolo di fessure leggermente marcato.</p>
ALTO	
	<p>Si ha la presenza di almeno una delle seguenti indicazioni: 1) sgretolamento in prossimità della fessura (sigillata e non) con rischio effettivo di FOD; 2) apertura delle fessure ≥ 25 mm; 3) l'area compresa tra la fessura e l'angolo della lastra presenta un intenso reticolo di fessure. Nel caso di interessamento di 2 o più angoli della stessa lastra si ha un alto livello di severità del degrado.</p>

APPENDICE 2**5.3. Fessure da “invecchiamento” – Durability “D” cracking.**

Area dissesto/ID

REGOLARITA'**R.R1**

Le fessure da invecchiamento si manifestano come un insieme di fessure (pattern) ad apertura contenuta che si formano in prossimità dei giunti, parallelamente agli stessi, o in prossimità di fessure lineari marcate. La causa del fenomeno è dovuta alla fatica indotta dalle condizioni climatiche quali cicli termici o fasi gelo-disgelo. Lo sviluppo interessa una fascia parallela ai giunti (o fessure) compresa tra 0,30 m e 0,60 m ca..

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	Sono presenti fessure di limitata apertura e intensità, che possono essere in prossimità delle intersezioni dei giunti oppure parallelamente agli stessi. Nessun rischio di FOD.
MEDIO	
	Le fessure interessano una modesta porzione della lastra con livello tale da generare un potenziale rischio FOD.
ALTO	
	Le fessure interessano una porzione considerevole della lastra con presenza di sgretolamento del calcestruzzo e conseguente alto rischio di FOD.

APPENDICE 2

5.4. Microfessure – Shrinkage Cracking.

Area dissesto/ID

REGOLARITA'

R.R2

Si tratta di un degrado di tipo superficiale che tipicamente non supera un'apertura di alcuni millimetri; la superficie occupata è comunque limitata e non si estende oltre la delimitazione del rispettivo giunto. L'origine è fondamentalmente dovuta alla inadeguata protezione durante la fase di maturazione del getto di calcestruzzo; altri fattori influenti possono essere la percentuale d'acqua, il volume del getto, la presenza di armatura in superficie e l'umidità dell'aria.

Non sono previsti livelli di severità nell'individuazione del dissesto.

Rilevazione: sup. interessata.






APPENDICE 2

5.5. Degrado dei giunti di dilatazione – Joint Seal Damage RC.

Area dissesto/ID	REGOLARITA'	R.R3
------------------	-------------	------

Il degrado dei giunti di dilatazione interposti tra diverse lastre porta all'accumulo di materiale inerte tra le lastre e la concreta possibilità di infiltrazioni di acqua verso gli strati più profondi. L'infiltrazione di acqua attraverso i giunti potrebbe portare ad un ammaloramento dello strato di fondazione determinando in questo modo un rapido decadimento delle caratteristiche di resistenza per il quale è stato progettato. Altri fenomeni di deterioramento sono il distaccamento del sigillante, indurimento e conseguente comportamento anestetico dello stesso, disgregazione del conglomerato in prossimità dei giunti nonché assenza di sigillante. Di conseguenza le cause che portano ai problemi analizzati sono principalmente dovuti alla inesatta larghezza dei giunti, scelta errata del materiale sigillante e/o non corretto utilizzo dello stesso, invecchiamento, insufficiente pulizia e inadeguata preparazione della superficie di posa.

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	Il sigillante si presenta in condizioni generali soddisfacenti, sufficiente elasticità e permeabilità all'acqua.
MEDIO	
	Il sigillante presenta cenni di decadimento che possono presentarsi con le seguenti modalità: 1) piccole aperture di ampiezza inferiore a 3 mm che comunque non garantiscono totale impermeabilità all'acqua; 2) presenza di detriti provenienti dagli strati inferiori; 3) ossidazione del sigillante; 4) presenza di vegetazione nel giunto. Si rende opportuno programmare il rifacimento entro 2 anni.
ALTO	
	Il sigillante si presenta in condizioni scadenti e il degrado che ne consegue ha un alto livello di severità per tutta l'estensione del giunto; assenza di sigillante, presenza di materiale inerte incompressibile.

APPENDICE 2**5.6. Distacco superficiale della malta, micro fessure – Scaling, Map Cracking and Crazing.**




Area dissesto/ID

REGOLARITA'**R.R4**

Il distacco superficiale della malta può essere dovuto a difetti di realizzazione quali eccessiva aggiunta d'acqua in fase di maturazione o errori in fase di esecuzione del getto; inadeguatezza dei materiali utilizzati quali inerti fini o sporchi; effetti ambientali quali cicli di gelo-disgelo in fase di maturazione (aree estese) oppure per effetto delle alte temperature.

In larga misura questo tipo di ammaloramento determina un interessamento di tipo superficiale senza interessare gli strati più profondi, salvo la concomitanza di altri fenomeni di degrado. Un'ulteriore causa di disgregazione superficiale può essere indotta dal fenomeno definito "ASR - Alkali-Silica Reactivity"; si tratta della reazione dovuta alla mescola tra la pasta di cemento, altamente alcalina, e inerte siliceo amorfo.

Rilevazione: n. lastre interessate.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO 	Reticolo di fessure a carattere superficiale con leggera perdita di malta senza comunque rischio di FOD.
MEDIO 	Perdita della malta superficiale e di aggregato grosso con conseguente rischio FOD.
ALTO 	Evidenti segni di degrado che comportano il persistente rischio di FOD.

APPENDICE 2

5.7. Rottura longitudinale del giunto – Joint Spalling.

Area dissesto/ID	REGOLARITA'	R.R5
------------------	-------------	------

Il degrado consiste nella rottura longitudinale in prossimità del giunto, ad una distanza non superiore a 60 cm, con uno sviluppo che non interessa l'intero spessore della lastra. Le cause del fenomeno possono essere di vario tipo ma principalmente riconducibili a carico eccessivo sulla lastra, infiltrazione di materiale inerte all'interno del giunto e alla scarsa capacità portante del calcestruzzo.

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	<p>a) sviluppo longitudinale con lunghezza ≥ 60cm: 1) l'area interessata è spaccata in non più di tre porzioni con rischio FOD ridotto o assente; 2) il giunto presenta minimi cenni di degrado.</p> <p>b) sviluppo longitudinale con lunghezza ≤ 60 cm: l'area si presenta frammentata con modesto rischio FOD.</p>
MEDIO	
	<p>a) sviluppo longitudinale con lunghezza ≥ 60 cm: 1) l'area interessata è spaccata in più di tre parti con rotture marcate; 2) l'area è suddivisa in meno di tre parti ma con un potenziale rischio FOD.</p> <p>b) sviluppo longitudinale con lunghezza ≤ 60 cm: l'area si presenta frammentata con rischio effettivo di FOD.</p>
ALTO	
	<p>1) Lo sviluppo longitudinale ha lunghezza ≥ 60 cm e l'area si presenta frammentata in più di tre parti con zone di rottura decisamente marcate e imminente distacco di porzioni.</p> <p>2) evidente degrado del giunto con alta probabilità di FOD.</p>



APPENDICE 2**5.8. Rottura angolare della lastra – Corner Spalling.**

Area dissesto/ID

REGOLARITA'**R.R6**

Questo tipo di rottura interessa la parte d'angolo della piastra in c.a. e si sviluppa dallo stesso ad una distanza di ca. 60 cm; la fessura si sviluppa in senso trasversale ai giunti e può essere più o meno rettilinea. La causa può essere dovuta a eccessiva sollecitazione indotta dai carichi applicati.

Rilevazione: n. lastre interessate.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	La porzione di lastra presenta una serie di fessure con severità bassa o un'unica fessura di severità media, senza comunque rischio di FOD.
MEDIO	
	La porzione di lastra presenta una serie di fessure con severità media o un'unica fessura di severità alta, con potenziale rischio di FOD.
ALTO	
	La porzione di lastra presenta una serie di fessure con severità alta o un'unica fessura di severità alta, con potenziale rischio di FOD.

APPENDICE 2**5.9. Fessurazioni a rete – Shattered Slab/Intersecting Cracks.**

Area dissesto/ID

PORTANZA**R.P3**

La fessurazione diffusa a rete (“shattered slab”) interessa superficialmente la lastra e si manifesta con la rottura della stessa in un numero di quattro o più parti a seconda della serietà del degrado. Le cause principali sono dovute a sovraccarico, a scarsa capacità portante dello strato di fondazione o dalla combinazione dei due fattori.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	 <p data-bbox="644 931 1433 1234">La lastra è divisa in 4/5 parti a causa di rotture prevalentemente con livello di severità basso.</p>
MEDIO	 <p data-bbox="644 1288 1433 1590">a) La lastra è divisa in 4/5 parti a causa di fessure che almeno per il 15% presentano un livello di severità medio; b) La lastra è divisa in 6 o più parti a causa di fessure che per oltre l'85% hanno un livello di severità basso.</p>
ALTO	 <p data-bbox="644 1644 1433 1935">a) La lastra è divisa 4/5 porzioni a causa di rotture che presentano un elevato livello di severità; b) La lastra è divisa in 6 o più parti con oltre il 15% delle fessure che presentano un livello di severità medio e/o alto.</p>

APPENDICE 2**5.10. Rotture e sollevamenti – Blowups.**

Area dissesto/ID

REGOLARITA'**R.R7**

Si tratta di un fenomeno essenzialmente dovuto all'impossibilità del calcestruzzo di potersi espandere sotto l'azione delle alte temperature, tipicamente estive; una delle cause può essere la realizzazione di un giunto non sufficientemente ampio da permettere la dilatazione termica della lastra. Allo stesso modo la causa può essere imputabile alla presenza di materiale incompressibile che di fatto ostacola la naturale dilatazione del calcestruzzo. Il degrado si manifesta con la rottura e il conseguente sollevamento di alcune parti della lastra (blowups). Il fenomeno può manifestarsi in maniera più accentuata qualora si abbia uno strato superficiale costituito da conglomerato bituminoso, in quanto, per via del maggior effetto assorbente della superficie opaca si avrebbe un maggiore riscaldamento e, conseguentemente, una maggiore dilatazione indotta. *Rilevazione: n. lastre interessate.*

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	<p>La pavimentazione mantiene il proprio livello di funzionalità con un leggero sollevamento delle lastre interessate (indicativamente <13mm per runway e <25mm per aprons). Presenza di FOD.</p>
MEDIO	
	<p>La pavimentazione mantiene la propria operatività ma il sollevamento indotto dal dissesto appare piuttosto marcato (indicativamente $13\text{mm} \leq x \leq 25\text{mm}$ per runways e $25\text{mm} \leq x \leq 51\text{mm}$ per aprons). Presenza di FOD.</p>
ALTO	
	<p>La pavimentazione ha un elevato livello di degrado con un marcato sollevamento; non è consentita l'operatività nell'area interessata.</p>

APPENDICE 2

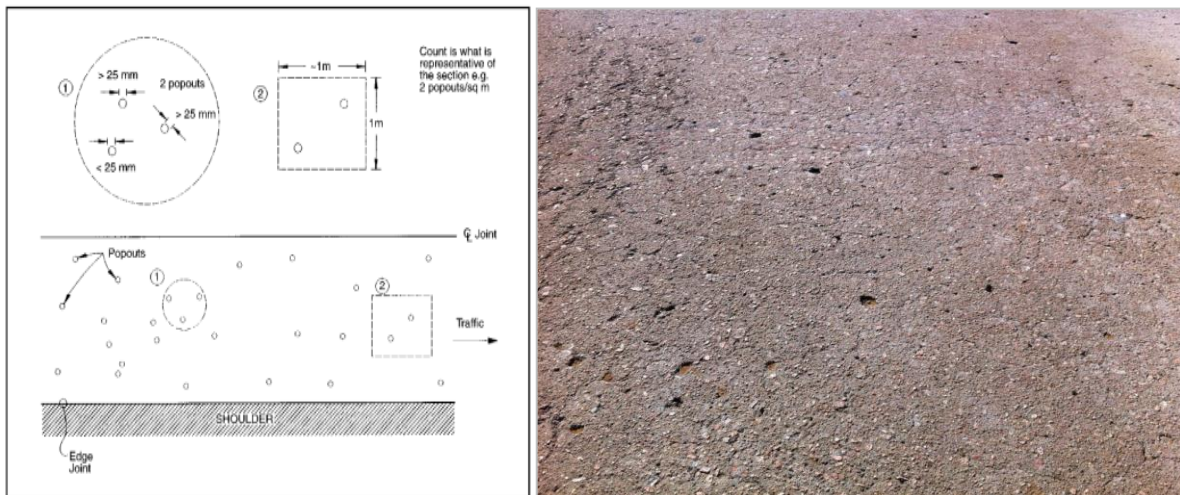
5.11. Distacco di inerti – Popouts.

Area dissesto/ID	REGOLARITA'	R.R8
------------------	-------------	------

Il degrado si manifesta attraverso il distacco di inerti (“popouts”) generalmente dovuto alle basse temperature e alle azioni del ghiaccio sullo strato superficiale; la magnitudo è comunque limitata ad un’ampiezza compresa tra 25 mm e 100 mm di diametro e non oltre 50 mm di profondità. Talvolta il distacco può essere dovuto ad un solo inerte di dimensioni relativamente grandi. Si tratta di un degrado che non interessa la pavimentazione dal punto di vista strutturale, tuttavia una intensa diffusione dello stesso potrebbe portare all’infiltrazione di acqua e di altri liquidi potenzialmente dannosi per gli strati inferiori.

Non sono previsti diversi livelli di severità nel caso di distacco di inerti, ma dev’essere aumentato il monitoraggio qualora si verificano tre distacchi in un area di ca 1mq.

Rilevazione: sup. interessata.






APPENDICE 2**5.12. Rappezzi - Patching.**

Area dissesto/ID

REGOLARITA'**R.R9**

I rappezzi sono interventi di ripristino che interessano una limitata estensione; le operazioni effettuate sono state la rimozione del materiale degradato limitatamente all'area interessata e la stesa di nuovo materiale. La creazione di discontinuità ravvicinate induce uno stato di sollecitazione maggiore sulla pavimentazione che quindi dev'essere sottoposta ad un più frequente monitoraggio. Nella valutazione dello stato di un rappezzo si è soliti effettuare la distinzione tra piccoli rappezzi, con superficie $\leq 0,50$ mq oppure grandi rappezzi, con superficie $> 0,50$ mq.

Rilevazione: sup. interessata.

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	<p>Il rappezzo, in entrambi i casi, si presenta generalmente in condizioni buone con piccoli cenni di deterioramento.</p>
	
MEDIO	<p>Il rappezzo presenta alcuni cenni di deterioramento con presenta di fessure; rischio di FOD.</p>
	
ALTO	<p>Il rappezzo si presenta deteriorato, con marcata irregolarità superficiale e alto rischio FOD.</p>
	

APPENDICE 2

5.13. Risalita di aggregato fine - Pumping.

Area dissesto/ID

REGOLARITA'**R.P4**

Il degrado è dovuto al progressivo ammaloramento di fessure o giunti di dilatazione, consentendo così all'acqua di infiltrarsi e di risalire in superficie causando la contemporanea risalita di materiale inerte fine del sottofondo. L'espulsione di acqua comporta quindi il trasporto in superficie di sabbia, argilla e limo, inducendo una progressivo decadimento allo strato di fondazione e riducendo notevolmente il periodo di vita utile della pavimentazione interessata.

Non sono previsti diversi livelli di severità per la tipologia di degrado.

Rilevazione: n. lastre interessate.



APPENDICE 2**5.14. Assestamenti – Settlement or Faulting.**

Area dissesto/ID

PORTANZA**R.P5**

Si tratta di assestamenti e/o cedimenti che possono determinare una differenza di quota tra le lastre in prossimità dei giunti; la causa può essere dovuta al differente comportamento di lastre contigue sotto l'azione dei carichi oppure all'insufficiente compattamento del terreno di fondazione in fase di realizzazione dell'opera.

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	<p>L'assestamento viene misurato attraverso la differenza di quota tra due lastre; il livello di severità è definito basso se la differenza di quota è:</p> <p>$\Delta < 6\text{mm}$ per runways/taxiways; $3\text{mm} < \Delta < 13\text{ mm}$ per aprons.</p>
MEDIO	<p>$>6\text{mm}$ e $<13\text{mm}$ per runways/taxiways; $13\text{mm} < \Delta < <25\text{ mm}$ per aprons.</p>
ALTO	<p>$\Delta > 13\text{mm}$ per runways/taxiways; $\Delta > 25\text{mm}$ per aprons.</p>

APPENDICE 2

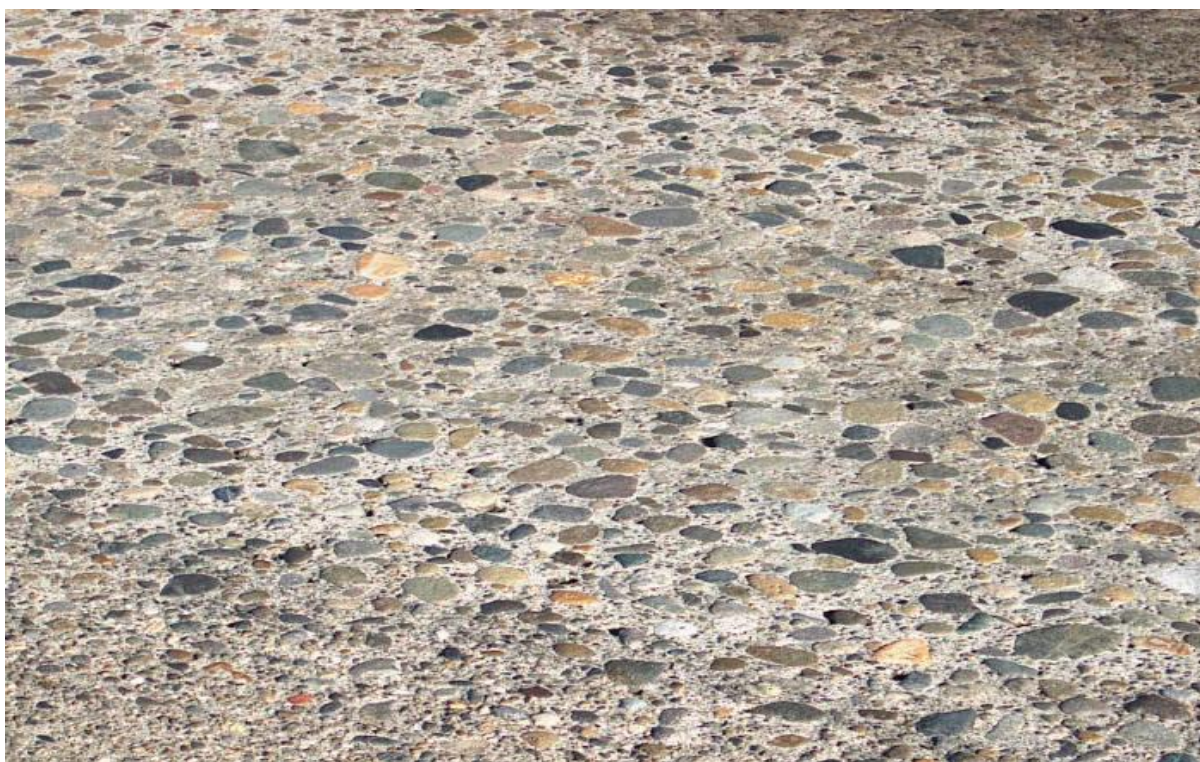
5.15. Aggregato levigato - Polished aggregates.

Area dissesto/ID

ADERENZA

R.A1

Il traffico degli aeromobili comporta negli anni l'usura degli inerti e della pasta di cemento; qualora l'inerte non abbia una buona resistenza all'usura si verifica un consumo degli spigoli vivi e quindi una perdita di rugosità superficiale.



APPENDICE 2

5.16. Azione di agenti contaminanti - Contaminants.

Area dissesto/ID

ADERENZA

R.A2

L'azione di agenti esterni sulla pavimentazione può comportare una riduzione dell'attrito superficiale; ciò può essere dovuto sia a sversamenti di olio o altri liquidi dannosi sia alla formazione di uno strato di gomma superficiale viabile dovuta al passaggio degli aeromobili.



APPENDICE 2**6. Degradi relativi a pavimentazioni flessibili.**




ADERENZA		PORTANZA		REGOLARITA'	
F.A1	Sgranamento superficiale	F.P1	Fessure longitudinali e trasversali	F.R1	Fessure a blocchi
F.A2	Effetto Jet Blast	F.P2	Fessure da invecchiamento	F.R2	Fessure riflesse da discontinuità sottostanti
F.A3	Aggregato levigato	F.P3	Cedimenti/sfondamenti	F.R3	Fessure a mezzaluna
F.A4	Rifluimento del bitume	F.P4	Rigonfiamenti localizzati	F.R4	Rappezzi
F.A5	Sversamento di olio/carburante			F.R5	fessure cavidotti
				F.R6	Ormaiamento
				F.R7	Corrugazione
				F.R8	Rotture di giunto tra diverse tipologie di pavimentazione

APPENDICE 2**6.1. Fessure longitudinali e trasversali – Long. and transv. cracking.**

Area dissesto/ID

PORTANZA**F.P1**

Le fessure di tipo longitudinale si sviluppano parallelamente alla center line. Le cause possono essere diverse quali (1) non perfetta realizzazione dei giunti di costruzione, (2) contrazione del conglomerato bituminoso per effetto delle basse temperature o della perdita di capacità flessibile del conglomerato oppure dalla (3) risalita di fessure presenti negli strati inferiori siano essi di tipo flessibile o rigido. Le fessure di tipo trasversale si presentano perpendicolarmente alla center line e sono legate principalmente a (2) contrazione del conglomerato bituminoso o alla (3) risalita di fessure presenti negli strati inferiori. A seconda della severità è possibile notare in prossimità delle fessure principali la formazione di ulteriori fessure di tipo secondario che possono indurre alla formazione di FOD. Il problema si può presentare su tutta la sovrastruttura, con maggiore probabilità nelle zone soggette al traffico di aeromobili.




Livello di severità	Caratteristiche
<p>BASSO</p> 	<p>Le fessure sono caratterizzate a un'ampiezza media ≤ 6 mm con rischio FOD assente o minimo. Se le fessure sono state sigillate il materiale si presenta in ottime condizioni.</p>
<p>MEDIO</p> 	<p>Le fessure in questo caso si presentano regolari con ampiezza media > 6 mm oppure fessure modeste con presenza di fessure secondarie che possono originare il rischio FOD. Se sigillate il materiale si presenta in condizioni non soddisfacenti.</p>
<p>ALTO</p> 	<p>Le fessure presentano un alto livello di severità con numerose fessure secondarie anche di tipo ampio. In questi casi si ha un elevato rischio di sgranamento dei bordi e di estensione del dissesto con generazione di un significativo stato fessurativo.</p>

APPENDICE 2**6.2. Fessure a blocchi – Block cracking.**

Area dissesto/ID

REGOLARITÀ**F.R1**

Il fenomeno si manifesta attraverso la creazione di un reticolo di fessure disposte per blocchi approssimativamente di forma quadrata/rettangolare che possono avere dimensioni variabili tra 0,30m per lato fino a 3m per lato. La causa è dovuta ai cicli termici cui è quotidianamente sottoposta una pavimentazione; sono escluse cause di tipo strutturale. La presenza di questo degrado indica il decadimento della capacità elastica caratteristica del conglomerato bituminoso. La dipendenza da cicli termici comporta che il fenomeno di può manifestare anche in aree non soggette al traffico degli aeromobili interessando anche aree di modesta entità.

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	<p>I blocchi sono definiti da fessure con bordi regolari o leggermente frastagliati comunque non tali da originare potenziale FOD. Le fessure sono caratterizzate da un'apertura media ≤ 5 mm; il sigillante presente per la chiusura delle fessure si presenta in buono stato di conservazione.</p>
MEDIO	
	<p>I blocchi sono definiti da fessure caratterizzate da un'apertura media ≥ 5 mm e ≤ 10 mm con bordi leggermente frastagliati che possono originare potenziale FOD; il materiale eventualmente presente nelle fessure può essere parzialmente staccato e può originare FOD. Il sigillante presente per la chiusura delle fessure denota cenni di decadimento.</p>
ALTO	
	<p>I blocchi sono ben definiti (l'apertura media delle fessure è ≥ 10 mm) e dai bordi si può avere distacco di materiale con alto rischio FOD.</p>

APPENDICE 2**6.3. Fessure riflesse da discontinuità sottostanti – Joint reflection cracking.**

Area dissesto/ID

REGOLARITÀ**F.R2**

Il degrado si manifesta qualora lo strato di superficie sia realizzato in conglomerato bituminoso mentre gli strati inferiori sono costituiti da lastre in calcestruzzo armato gettato in opera. Le dilatazioni e le contrazioni degli strati inferiori indotte dalle variazioni di temperatura comportano la formazione di fessure longitudinali e/o trasversali che, con il transito degli aeromobili, potrebbero aumentare il proprio grado di severità. Non si tratta comunque di un danno di tipo strutturale.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	<p>Le fessure sono appena evidenti con minimo rischio FOD; nel caso di fessure esistenti sigillate il prodotto si presenta in buone condizioni.</p> <p>$\Delta_{\text{apertura}} < 6\text{mm}$.</p>
MEDIO	<p>In prossimità delle fessure sia hanno rotture in senso parallelo che possono richiedere il ricorso a sigillanti; nel caso di fessure già sigillate il prodotto presenta cenni di degrado e necessita il ripristino. Nei punti d'intersezione si possono formare ulteriori fessure in senso diagonale.</p> <p>$\Delta_{\text{apertura}} > 6\text{mm}$.</p>
ALTO	<p>Le fessure hanno apertura ≥ 10 mm e da esse hanno origine altre fessure con un medio-alto livello di severità; elevato rischio di distacco di materiale e formazione FOD.</p>

APPENDICE 2

6.4. Fessure da invecchiamento – Alligator cracking.

Area dissesto/ID	PORTANZA	F.P2
------------------	-----------------	-------------

Le fessure da invecchiamento appaiono spesso come un insieme di fessure più o meno intense, con apertura comunque contenuta, che si manifestano sul manto d’usura a causa del carico applicato dagli aeromobili in transito. Lo sviluppo del degrado avviene attraverso la formazione di fessure longitudinali che, per effetto degli elevati e ripetuti cicli di carico e, eventualmente, anche per effetto della scarsa capacità portante, si infittiscono e si interconnettono formando un reticolo di fessure definito anche “a pelle di coccodrillo”. Trattandosi di un dissesto dovuto al transito degli aeromobili il problema si sviluppa in particolare lungo la linea di transito del carrello.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	Leggere fessure longitudinali caratterizzate da assenti o limitate interconnessioni; assenza di rischio distacco inerti.
MEDIO	
	Le fessure sono interconnesse e creano una maglia ben definita; assenza di rischio distacco inerti.
ALTO	
	Le fessure sono spesse, profonde e ben evidenti e formano una maglia caratterizzata da bordi irregolari. Sono possibili fenomeni di sgranamento e formazione di FOD. Elevato il rischio di distacco di elementi.

APPENDICE 2**6.5. Fessure a mezzaluna - Slippage cracking.**

Area dissesto/ID

REGOLARITÀ**F.R3**

Il fenomeno è dovuto allo scorrimento del manto di usura sullo strato inferiore (generalmente binder) con conseguente deformazione del piano viabile e si sviluppa in prossimità in punti di arresto e di sterzata degli aeromobili. Lo sviluppo avviene con disposizione a mezzaluna dove la parte centrale indica il punto di passaggio del carrello dell'aeromobile. Le cause sono dovute alla scarsa resistenza alle azioni tangenziali esercitate in caso di manovre quali accelerazioni, frenate e sterzate e possono essere dovute alla inefficace azione dell'emulsione bituminosa tra il manto di usura e lo strato più.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	<p>Le fessure a mezzaluna hanno un'ampiezza media minore o uguale ≤ 5 mm; non ci sono zone in cui le fessure convergono e non si ha il distacco di materiale.</p> 
MEDIO	<p>Le fessure a mezzaluna hanno un'ampiezza compresa nell'intervallo ≥ 5 mm e ≤ 10 mm. Nelle zone in cui le fessure convergono si verifica il distacco di aggregati che possono costituire potenziale FOD.</p> 
ALTO	<p>Le fessure hanno un'apertura media ≥ 10 mm, si intersecano e originano distacco di materiale.</p> 

APPENDICE 2**6.6. Sgranamento superficiale - Raveling and Weathering.**

Area dissesto/ID

ADERENZA**F.A1**

E' il degrado più diffuso tra quelli delle pavimentazioni flessibili e si manifesta attraverso il progressivo sgranamento e il distacco di materiale inerte e la perdita di bitume. Si tratta di un indicatore d'invecchiamento dell'asfalto e l'eventuale presenza di un'alta rugosità indica l'approssimarsi del termine della vita utile del manto d'usura. Il progredire del distacco di inerte può anche determinare il rischio concreto di F.O.D. (Foreign Object Debris/Damage).

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	<p>Singoli aggregati caratterizzati da dimensioni non superiori a 10 mm manifestano un principio di distacco dallo strato superficiale; in un metro quadrato di pavimentazione il numero di aggregati distaccati può variare da 5 a 20.</p>
MEDIO	
	<p>Il quantitativo di aggregati distaccati aumenta quantitativamente variando tra 21 e 40 elementi per metro quadro.</p>
ALTO	
	<p>Il distacco avviene in modo decisamente evidente, quantitativamente maggiore a 40 per metro quadro. Tale fenomeno può essere anche concentrato portando alla formazione di buche di limitata estensione nella pavimentazione</p>

APPENDICE 2

6.7. Effetto Jet Blast - Jet Blast Erosion.

Area dissesto/ID	ADERENZA	F.A2
------------------	-----------------	-------------

Il fenomeno si caratterizza con la presenza di aree degradate, di estensione limitata, dello strato di usura che hanno subito dei forti surriscaldamenti (“cotture”) per effetto dell’azione dei turbogetto. Lo spessore di pavimentazione interessato può arrivare a ca. 13 mm (1/2 inch).




Non sono previsti livelli di severità ed è sufficiente indicarne la presenza nel documento di report.

APPENDICE 2

6.8. Rappezi - “Patching and Utility Cut Patch”.

Area dissesto/ID	REGOLARITÀ	F.R4
------------------	-------------------	-------------

I rappezi sono indicati come delle aree di modeste dimensioni (alcuni metri quadri) che sono state interessate da interventi di rimozione dello strato superficiale ammalorato e sostituito con filler (bitume colato a caldo). Un degrado dei rappezi può portare al rischio di FOD.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	Rappezzo integro. 
MEDIO	
MEDIO	Rappezzo con modesto degrado, con assente o minimo rischio di FOD. Possibile ripercussione sulla regolarità superficiale. 
ALTO	
ALTO	Rappezzo con degrado marcato e presenta fessure con concreto rischio di formazione di FOD. La regolarità superficiale risulta fortemente condizionata. 

APPENDICE 2

6.9. Fessure di cavidotti presso center line – Center line joint electric circuit.

Area dissesto/ID	REGOLARITÀ	F.R5
------------------	-------------------	-------------

Il dissesto consiste nella formazione di fessure, rotture o distacchi nello strato superficiale; esso si verifica in quelle zone poste al di sopra dei cavidotti utilizzati per il passaggio dei cavi elettrici di alimentazione della segnaletica luminosa. Il distacco di materiale dallo strato superficiale può compromettere la regolarità della superficie di rotolamento quindi la sicurezza della circolazione degli aeromobili. Le fessure si verificano generalmente lungo la center line e in quelle zone in cui i cavidotti attraversano trasversalmente l'infrastruttura per consentire l'alimentazione dei fuochi d'asse pista.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	Si ha formazione di fessure (longitudinali rispetto al cavidotto) caratterizzate da un'apertura inferiore o uguale a 5mm.
MEDIO	
	Si ha la formazione di fessure (longitudinali e trasversali rispetto al cavidotto) caratterizzate da un'apertura compresa tra i 5 e i 10 mm. Le fessure formano una maglia definita dalla quale però non si ha il distacco di elementi.
ALTO	
	Le fessure costituenti la maglia hanno un'apertura superiore o uguale a 10 mm; è alto il rischio di distacco di elementi e quindi la formazione di FOD.

APPENDICE 2**6.10. Ormaiamento – Rutting.**

Area dissesto/ID

REGOLARITÀ**F.R6**

Il degrado si caratterizza per la formazione di ormaie/depressioni in prossimità dell'area interessata dal passaggio del carrello di un aeromobile. La problematica diventa ancora più evidente con la presenza di precipitazioni atmosferiche, le quali mettono in evidenza la criticità e l'entità dell'ammaloramento. La causa del fenomeno è dovuta al carico applicato dagli aeromobili in transito.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	L'ormaia ha profondità ≤ 10 mm.
	L'ormaia ha profondità ≥ 10 mm e ≤ 25 mm.
MEDIO	L'ormaia ha profondità ≥ 10 mm e ≤ 25 mm.
	L'ormaia ha profondità ≥ 25 mm.
ALTO	L'ormaia ha profondità ≥ 25 mm.
	

APPENDICE 2**6.11. Corrugazione – Corrugation.**

Area dissesto/ID

REGOLARITÀ**F.R7**

La corrugazione si manifesta attraverso la creazione di piccoli dossi ravvicinati dovuti ad un comportamento plastico dello strato superficiale di conglomerato bituminoso combinato alla sollecitazione dovuta all'aeromobile in transito; la formazione avviene in senso perpendicolare al passaggio con un'interasse generalmente inferiore a 1,5m.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	Il dissesto non disturba la circolazione degli aeromobili. $\Delta < 6\text{mm}$ per runways; $\Delta < 13\text{ mm}$ per taxiways e aprons.
MEDIO	
	La corrugazione crea un certo disturbo alla circolazione in sicurezza degli aeromobili. $6\text{mm} < \Delta < 13\text{mm}$ per runways; $13\text{mm} < \Delta < 25\text{ mm}$ per taxiways e aprons.
ALTO	
	La corrugazione produce gravi effetti sulla circolazione in sicurezza degli aeromobili. $\Delta > 13\text{mm}$ per runways; $\Delta > 25\text{ mm}$ per taxiways e aprons.

APPENDICE 2

6.12. Rotture in prossimità dei giunti tra conglomerate bituminoso e lastre in calcestruzzo armato - Shoving of asphalt pavement by PCC Slabs.

Area dissesto/ID	REGOLARITÀ	F.R8
------------------	-------------------	-------------

In prossimità del cambio di tipologia di sovrastruttura (flessibile/rigida) sono presenti dei giunti che, se non perfettamente realizzati, per effetto delle escursioni termiche cui sono sottoposti subiscono delle dilatazioni e delle contrazioni dimensionali. Nel caso di dilatazioni l'errata esecuzione dei giunti comporta la rottura degli stessi in prossimità dei bordi. I ripetuti cicli termici comportano l'aumento del livello di severità del degrado.




Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	Si verifica una leggera pressione in corrispondenza dei giunti senza che si verifichi alcuna rottura nella pavimentazione in conglomerato bituminoso.
MEDIO	
	La pressione generata dal contatto tra le diverse pavimentazioni comporta una modesta deformazione della pavimentazione; nessuna o limitata presenza di fessure.
ALTO	
	Il contatto determina la formazione di irregolarità della sovrastruttura rilevanti che possono comportare la rottura della pavimentazione in conglomerato bituminoso.

APPENDICE 2

6.13. Cedimenti/sfondamenti – Depression.

Area dissesto/ID	PORTANZA	F.P3
------------------	-----------------	-------------

Si tratta di ammaloramenti che interessano aree di limitata estensione e che si manifestano attraverso depressioni localizzate generalmente dovute ad assestamenti del sottofondo sottoposto ai normali cicli di carico. Il fenomeno può comportare sia una perdita di regolarità superficiale sia il ristagno e l’infiltrazione di acqua negli strati inferiori.

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	Ristagno d’acqua appena marcato con influenza minima sulla regolarità superficiale. 3mm < Δ < 13mm per runways; 13mm < Δ < 25 mm per taxiways e aprons.
MEDIO	
	Ristagno d’acqua modesto con moderata influenza sulla regolarità superficiale. 13mm < Δ < 25mm per runways; 25mm < Δ < 51 mm per taxiways e aprons.
ALTO	
	Ristagno d’acqua evidente con influenza marcata sulla regolarità superficiale; rischio di acquaplaning. Δ > 25mm per runways; Δ > 51 mm per taxiways e aprons.

APPENDICE 2**6.14. Rigonfiamenti localizzati - Swelling.**

Area dissesto/ID

PORTANZA**F.P4**

Il dissesto si manifesta attraverso il rigonfiamento di un'area limitata della pavimentazione per effetti che generalmente sono riconducibili all'aumento di volume del materiale che compone il sottofondo della sovrastruttura. Un rigonfiamento marcato può comportare la creazione di fessure. L'aumento volumetrico può essere dovuto all'azione delle basse temperature oppure alle caratteristiche inidonee del materiale utilizzato.

Livello di severità	Caratteristiche
BASSO	
	<p>La presenza di un rigonfiamento è leggermente percepibile in occasione di una ispezione visiva così come in occasione di un passaggio effettuato in automobile.</p>
MEDIO	
	<p>La presenza del dissesto è chiaramente percepibile attraverso un'ispezione in automobile.</p>
ALTO	
	<p>E' possibile rilevare visivamente un netto rigonfiamento ed è netta anche una irregolarità del piano viabile.</p>

APPENDICE 2

6.15. Aggregato levigato - Polished aggregate.

Area dissesto/ID

ADERENZA

F.A3

Il traffico degli aeromobili comporta negli anni il logorio degli inerti e del legante bituminoso; qualora l'inerte non abbia una buona resistenza all'usura si verifica il consumo degli spigoli vivi e quindi una perdita di rugosità superficiale e di resistenza al rotolamento; Ciò potrebbe comportare la necessità di maggiori spazi di frenata per gli aeromobili in fase di atterraggio.

Non sono definiti livelli di severità e la presenza del degrado è riconoscibile immediatamente non appena la pavimentazione presenta una scarsa ruvidità al tatto.



APPENDICE 2

6.16. Rifluimento del bitume - Bleeding.

Area dissesto/ID

ADERENZA

F.A4

Il rifluimento del bitume “bleeding” è caratterizzato dalla formazione di una pellicola di bitume che ricopre lo strato superficiale della pavimentazione. La causa è dovuta alla presenza di un quantitativo eccessivo di bitume nel conglomerato bituminoso e/o bassa percentuale di vuoti; con il sopraggiungere di alte temperature (mesi estivi) si ha una saturazione dei vuoti e quindi l’addensarsi di bitume sulla superficie senza che si attivi un processo inverso nei mesi invernali. Il fenomeno può comportare una riduzione non trascurabile dell’aderenza superficiale.



APPENDICE 2

6.17. Sversamento di Olio/Carburante – Oil spillage.

Area dissesto/ID

ADERENZA

F.A5

Lo sversamento di olio e di carburante sulla superficie in conglomerato bituminoso porta allo sgretolamento dello strato interessato.

Non sono previsti diversi livelli di severità per la indicazione del degrado e non è considerato tale se lo sversamento non ha comportato distacco di materiale o diminuzione della capacità portante della sovrastruttura.



APPENDICE 3

APPENDICE 3

Catalogo tecniche di intervento

APPENDICE 3



CATALOGO DELLE TECNICHE DI INTERVENTO PER LA
MANUTENZIONE E IL RIPRISTINO FUNZIONALE DELLE
STRUTTURE DI VOLO

APPENDICE 3

Sommario

APPENDICE 3	I
Tecniche di ripristino delle sovrastrutture aeroportuali.	V
1. INTERVENTI SU PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE/SEMI-RIGIDA	VI
1.1. Interventi manutentivi globali	VI
1.1.1. Ripristino aderenza superficiale M&R.01	VI
1.1.2. Rifacimento strato di usura M&R.02	VII
1.1.3. Rifacimento strato di usura e di collegamento M&R.03	IX
1.1.4. Ricostruzione degli strati in conglomerato bituminoso M&R.04	IX
1.2. Interventi di ricostruzione	XI
1.2.1. Rifacimento sovrastruttura M&R.05	XI
1.2.2. Risanamento Profondo M&R.06	XIII
1.3. Interventi localizzati e urgenti.	XV
1.3.1. Ripristino localizzato con conglomerato bituminoso a caldo M&R.07	XV
1.3.2. Riempimento buche con conglomerato bituminoso a freddo M&R.08	XVII
1.4. Interventi manutentivi localizzati	XVIII
1.4.1. Sigillatura fessure pavimentazione flessibile/semi-rigida M&R.09	XVIII
1.4.2. Ripristino zone fessurate poste al di sopra dei cavidotti per l'alimentazione dei fuochi di center line M&R.10	XIX
2. INTERVENTI SU PAVIMENTAZIONE RIGIDA	XXI
2.1. Interventi manutentivi globali	XXI
2.1.1. Ripristino di lastre in calcestruzzo a medio spessore M&R.11	XXI
2.2. Interventi di ricostruzione	XXIII
2.2.1. Ripristino di lastre in calcestruzzo a tutto spessore M&R.12	XXIII
2.2. Interventi localizzati e urgenti.	XXVI
2.2.1. Ripristino localizzato con conglomerato bituminoso a caldo M&R.07	XXVI
2.2.2. Riempimento buche con conglomerato bituminoso a freddo M&R.08	XXVIII
2.4. Interventi manutentivi localizzati	XXIX

APPENDICE 3

2.4.1.	Ripristino giunti lastre in calcestruzzo M&R.13	XXIX
2.4.2.	Sigillatura giunti/fessure lastre in calcestruzzo	XXXI

APPENDICE 3

Tecniche di ripristino delle sovrastrutture aeroportuali.

Le tecniche d'intervento individuate sono state suddivise secondo due distinte necessità pratiche che si registrano in un aeroporto, ovvero rapidità d'intervento per impedire, se possibile, la chiusura dell'infrastruttura e risoluzione definitiva del problema attraverso interventi che riguardano la struttura della pavimentazione.

APPENDICE 3

1. INTERVENTI SU PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE/SEMI-RIGIDA

1.1. Interventi manutentivi globali

1.1.1. Ripristino aderenza superficiale M&R.01

1. Attività preliminari

Misure di aderenza con strumentazione ad alto rendimento (Surface Friction Tester).

2. Attività propedeutiche

Prima dell'intervento eseguire pulizia della pavimentazione con spazzatrice, individuando le aree che necessitano di una certa

3. Obiettivi

Ripristino dell'aderenza superficiale.

4. Periodo esecuzione

L'intervento deve essere eseguito qualora non siano soddisfatte le verifiche delle caratteristiche di micro e megatessitura.

5. Materiali e/o specifiche tecniche

Il ripristino dell'aderenza superficiale con l'asportazione di residui polimerici può essere fatto attraverso due tecniche: l'idrosgommatura e la pallinatura. Entrambe queste tecniche permettono di ripristinare le condizioni di sicurezza superficiale delle infrastrutture senza danneggiarne lo strato di usura. La prima tecnica sfrutta un getto d'acqua ad alta pressione mentre la seconda viene realizzata a secco mediante il bombardamento della superficie con microbiglie che svolgono una funzione abrasiva. La pallinatura viene anche utilizzata per l'asportazione della segnaletica orizzontale. Per il ripristino delle caratteristiche di aderenza delle lastre in calcestruzzo non soggette alla presenza di residui di pneumatico è possibile effettuare la bocciardatura ovvero un intervento di irruvidimento effettuato con un'attrezzatura fornita di dischi abrasivi al videria o altri utensili fresanti disposti in modo ottenere delle striature su tutta la superficie della pavimentazione. Questo tipo di intervento ha l'obiettivo di ripristinare l'aderenza superficiale soprattutto nella zona di toccata della pista. Deve essere eseguito ogni qual volta vengano a mancare le caratteristiche desiderate di micro e macrotessitura e l'efficacia dell'intervento dipende dal tempo necessario alla superficie per saturarsi nuovamente di materiale polimerico.

APPENDICE 3

1.1.2. Rifacimento strato di usura M&R.02

1. Attività preliminari

Prove e ispezioni in sito per la determinazione delle condizioni effettive della pavimentazione e prove in laboratorio per la caratterizzazione dei materiali.

2. Attività propedeutiche

Deve essere valutato lo stato dei diversi strati, della profondità interessata dalle fessure e di tutti gli altri aspetti utili alla definizione dell'intervento, anche economici, e determinare lo spessore di pavimentazione che si intende sostituire. La programmazione dovrà tenere conto dei tempi necessari per la perfetta esecuzione degli interventi: fresatura, pulizia, stesa e azione dell'emulsione bituminosa, stesa conglomerato bituminoso, compattazione, pulizia finale e raffreddamento.

3. Obiettivi

Eliminazione di una condizione diffusa di degrado che non interessa gli strati inferiori.

Ripristino del piano viabile.

Ripristino della barriera alla penetrazione delle acque meteoriche.

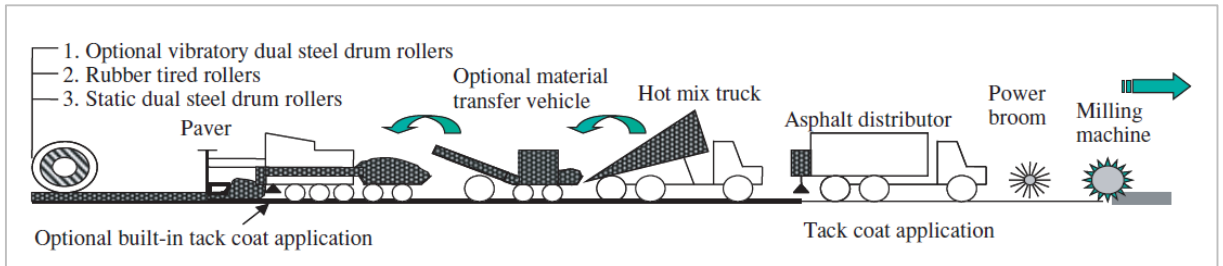
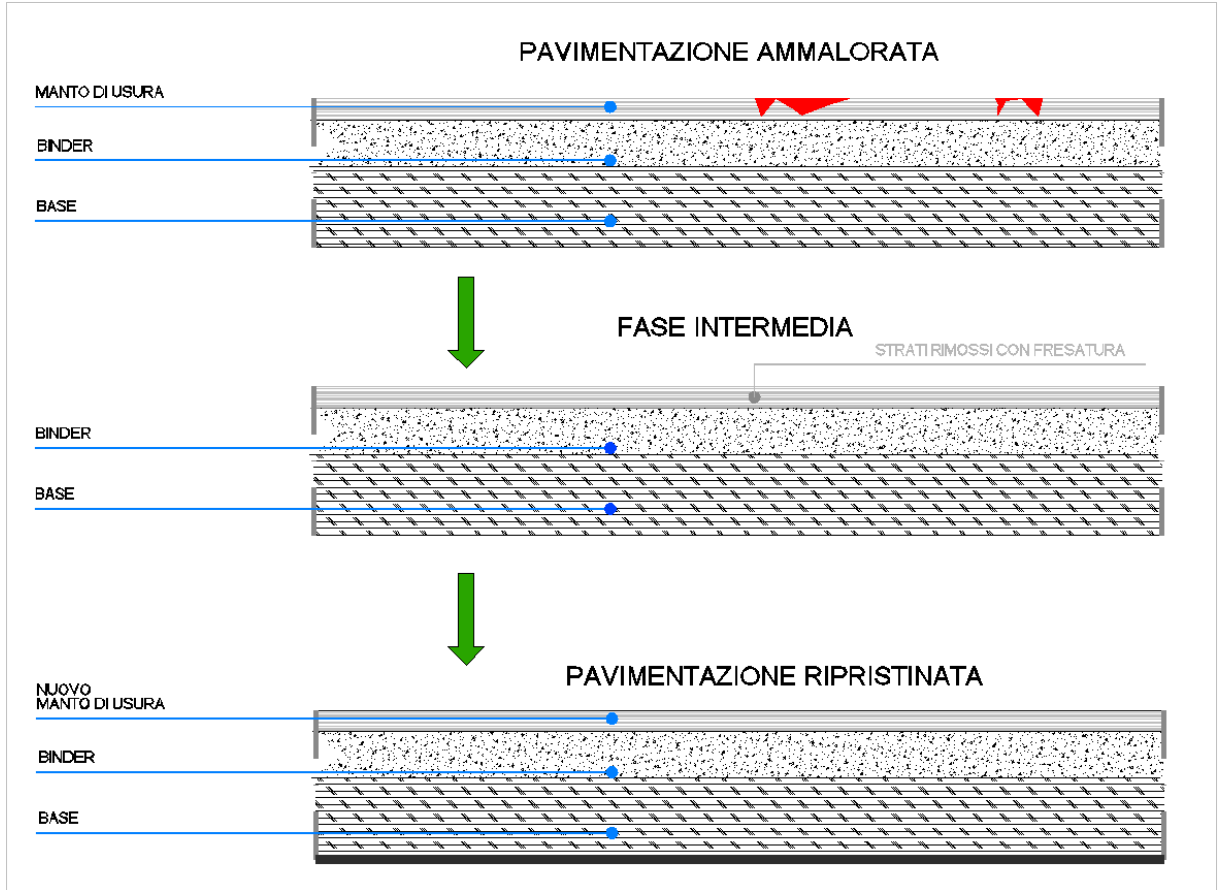
4. Periodo esecuzione

L'intervento non deve essere eseguito con temperature particolarmente rigide o in presenza di precipitazioni atmosferiche.

5. Materiali e/o specifiche tecniche

L'intervento consiste nella sostituzione di uno o più strati in conglomerato bituminoso del pacchetto di pavimentazione, su aree di dimensioni coerenti con l'estensione del dissesto. Quando si effettua la sostituzione del solo strato di usura si parla generalmente di rappezzi superficiali, altrimenti di rappezzi profondi che interessano anche lo strato di binder. Tale tecnica viene impiegata per eliminare il degrado, ripristinare la regolarità del piano viabile e per correggere deficienze strutturali o funzionali localizzate. L'intervento ha anche lo scopo di impedire la penetrazione delle acque meteoriche all'interno della pavimentazione. E' importante che sia ben definita l'area su cui eseguire il rappezzo; nel caso in cui le zone sulle quali sono presenti degradi siano molto ravvicinate, è consigliato eseguire un intervento che interessi l'intera area.

APPENDICE 3



APPENDICE 3

1.1.3. Rifacimento strato di usura e di collegamento M&R.03

L'intervento di rifacimento dello strato di usura e di collegamento si esegue quando dai risultati delle indagini di condizione superficiale o da semplice ispezione visiva siano presenti ormaie e/o fessurazioni tali da ritenere necessario il rifacimento di uno strato di circa 10-13 cm. Questo intervento è solitamente indicato in prossimità del passaggio del carrello principale dell'aeromobile che per le sollecitazioni indotte durante il transito ne ha determinato il degrado. In questo modo si ripristina la regolarità superficiale e si limita la profondità del degrado preservando gli strati inferiori da infiltrazioni.

1.1.4. Ricostruzione degli strati in conglomerato bituminoso M&R.04

1. Attività preliminari

Prove e ispezioni in sito per la determinazione delle condizioni effettive della pavimentazione e prove in laboratorio per la caratterizzazione dei materiali.

2. Attività propedeutiche

Deve essere valutato lo stato dei diversi strati, della profondità interessata dalle fessure e di tutti gli altri aspetti utili alla definizione dell'intervento e determinare lo spessore di pavimentazione che si intende sostituire. Particolare attenzione deve essere posta nella caratterizzazione dei materiali da utilizzare. La programmazione dovrà tenere conto dei tempi necessari per la perfetta esecuzione degli interventi: fresatura, pulizia, stesa e azione dell'emulsione bituminosa, stesa conglomerato bituminoso per diversi strati con i rispettivi tempi per compattazione e raffreddamento.

3. Obiettivi

Eliminazione di una condizione di degrado profondo che non interessa lo strato di fondazione.

Ripristino del piano viabile.

Ripristino della barriera alla penetrazione delle acque meteoriche.

4. Periodo esecuzione

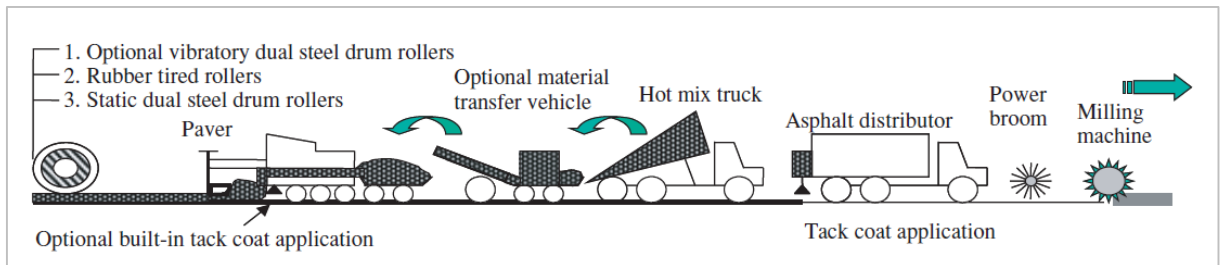
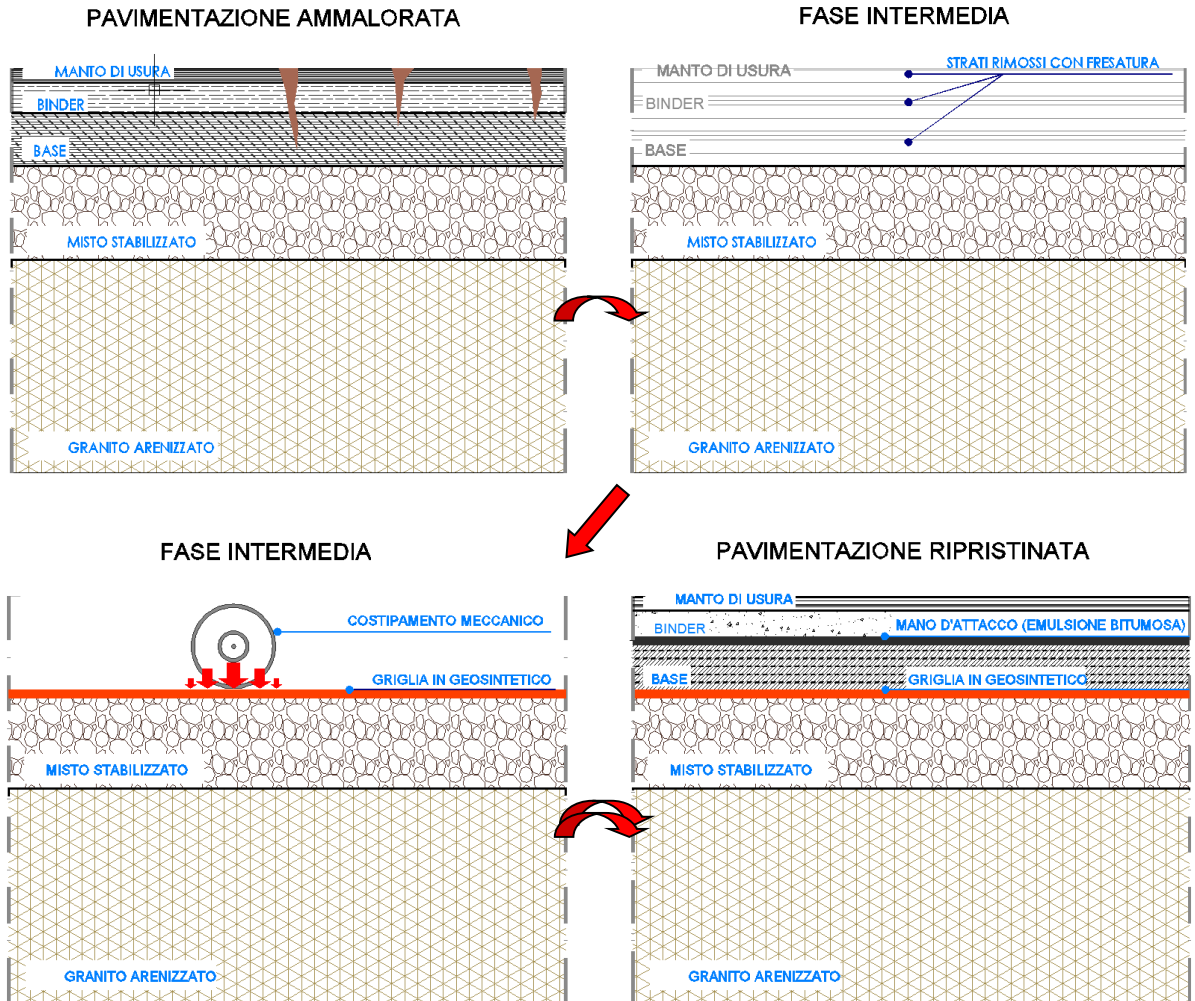
L'intervento non deve essere eseguito con temperature particolarmente rigide o in presenza di precipitazioni atmosferiche.

5. Materiali e/o specifiche tecniche

L'intervento consiste nella sostituzione totale degli strati in conglomerato bituminoso del pacchetto di pavimentazione laddove non è sufficiente intervenire con ripristini superficiali. In questo caso oltre agli strati di usura e binder viene interessato anche lo strato di base. Il ripristino degli strati deve

APPENDICE 3

avvenire con spessori e materiali idonei e specifici per ciascuno strato. Al di sotto del binder può essere utilmente disposta una griglia in geosintetico per il rinforzo strutturale ed il rallentamento della risalita delle e fessure.



APPENDICE 3

1.2. Interventi di ricostruzione

1.2.1. Rifacimento sovrastruttura M&R.05

1. Attività preliminari

Prove in sito ed in laboratorio per la determinazione delle condizioni effettive della pavimentazione. Progetto del nuovo pacchetto e studio di pre-qualifica dei materiali che si intendono utilizzare.

2. Attività propedeutiche

Valutato lo spessore di pavimentazione da interessare devono essere valutati con attenzione i tempi necessari per effettuare a perfetta regola d'arte tutte le diverse fasi di lavoro.

3. Obiettivi

Bonifica della fondazione.

Ripristino della capacità portante della pavimentazione.

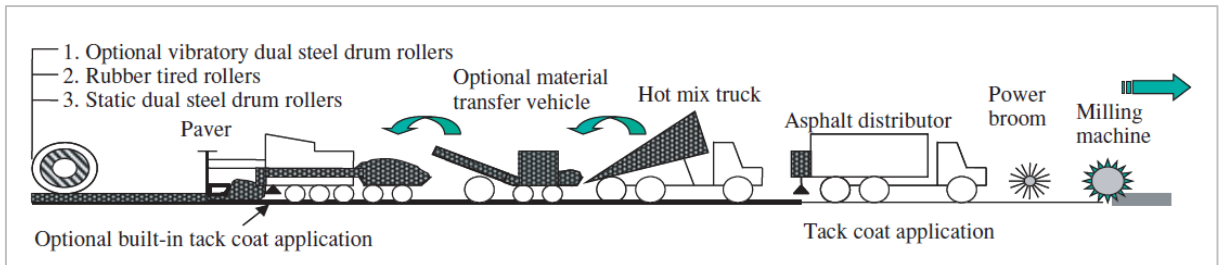
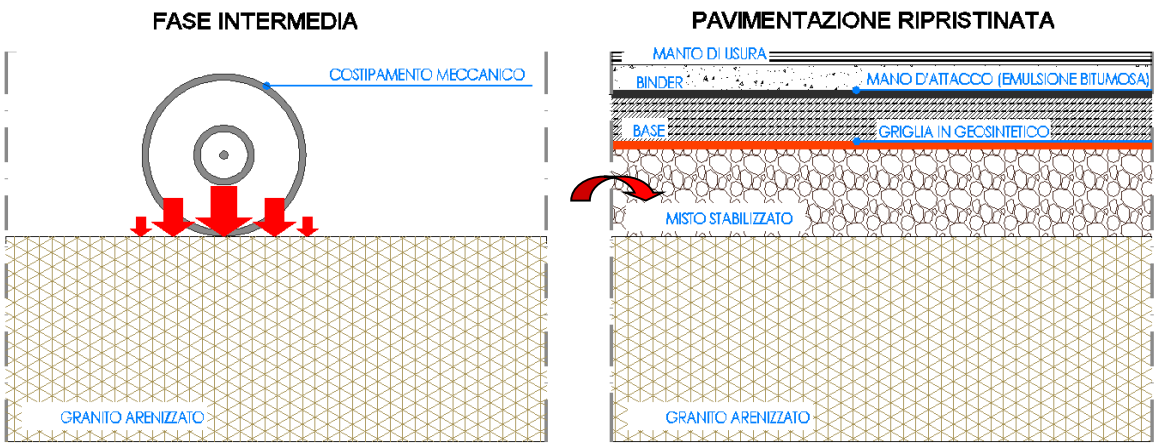
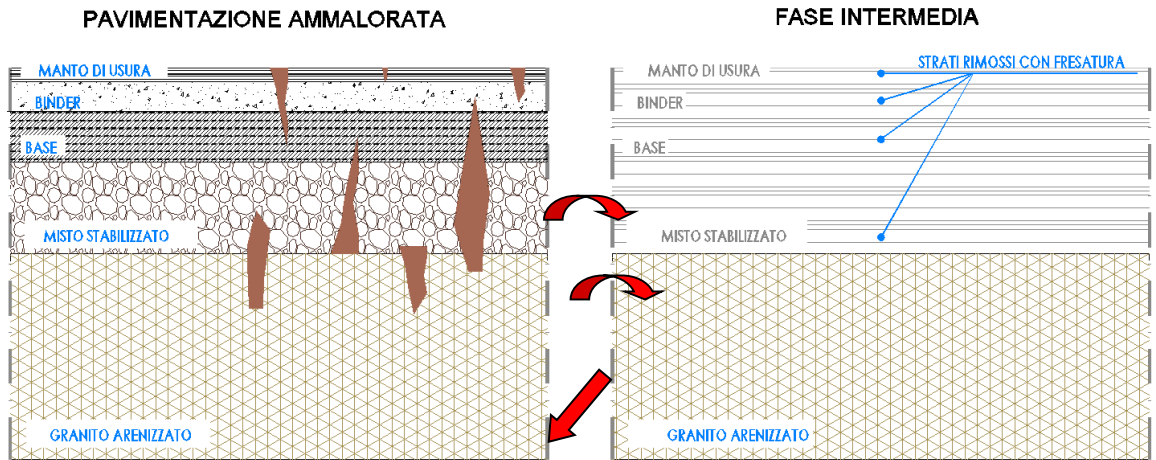
4. Periodo esecuzione

L'intervento non deve essere eseguito con temperature particolarmente rigide o in presenza di precipitazioni atmosferiche.

5. Materiali e/o specifiche tecniche

L'intervento, da effettuare in presenza di degrado severo ed esteso, che interessa l'intero pacchetto della pavimentazione, consiste nella sostituzione di tutti gli strati in conglomerato del pacchetto di pavimentazione (ed eventualmente della sottobase in misto cementato) e nella eventuale bonifica della fondazione e del sottofondo, e nella ricostruzione di quanto rimosso. E' importante quindi che prima della realizzazione dell'intervento vengano caratterizzati i materiali da utilizzare e che in fase di realizzazione vengano monitorate e controllate tutte le fasi costituenti l'attività. Per quanto concerne il sottofondo è fondamentale scegliere e dosare opportunamente l'eventuale legante utilizzato per la stabilizzazione e verificare le condizioni di umidità alla quale viene eseguita la compattazione; per ciò che concerne gli strati in conglomerato bituminoso invece risulta fondamentale effettuare tutte le "tradizionali" attività previste per questa lavorazione (come monitorare la stesa e la compattazione, verificare la temperatura del materiale, la velocità di avanzamento della finitrice ed il numero di passaggi del/i rullo/i, etc.). Questo tipo di intervento non andrebbe realizzato in presenza di temperature troppo rigide o in stagioni piovose. È importante pianificare e programmare tale attività in dettaglio al fine di non avere ritardi nella riapertura al traffico.

APPENDICE 3



APPENDICE 3

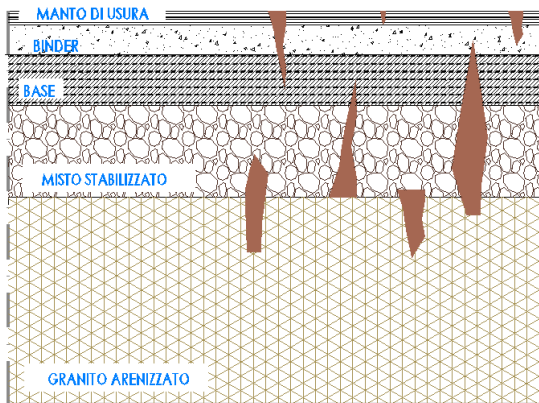
1.2.2. Risanamento Profondo M&R.06

L'intervento di risanamento profondo prevede la rimozione dell'intera sovrastruttura fino al raggiungimento dello strato di sottofondo, quindi rimuovendo anche lo strato in misto granulare naturale o stabilizzato. Si tratta di un intervento di tipo estremo, da effettuare qualora vengano riscontrati evidenti cedimenti o assestamenti del piano viabile. Le fasi esecutive sono:

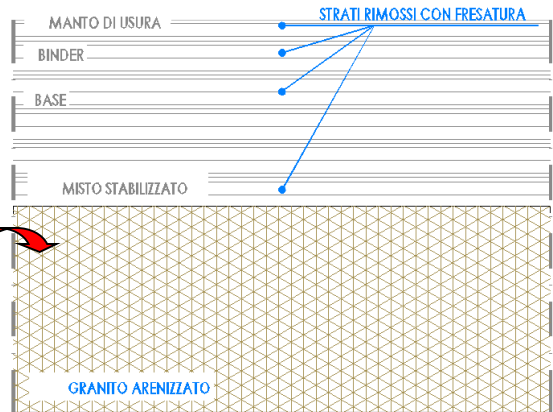
1. Progettazione del nuovo pacchetto della sovrastruttura sulla base della previsione di traffico, caratterizzazione del materiale da utilizzare e prescrizioni tecnico-operative per la realizzazione dell'intervento;
2. Analisi di eventuali interferenze con impianti sottotraccia e rete di drenaggio, pendenze, segnaletica;
3. Caratterizzazione del materiale da rimuovere e valutazione dello stesso per l'eventuale riutilizzo sotto forma di RAP;
4. Rimozione degli strati ricorrendo a fresatura o demolizione con mezzi meccanici in base all'area interessata provvedendo a realizzare preventivamente un taglio verticale con macchina taglia-asfalti;
5. Accertamento delle caratteristiche del sottofondo attraverso indagini sul campo (CBR, SPT, umidità, etc..) ed eventuale correzione granulometrica o stabilizzazione a calce e cemento. La stabilizzazione a calce ha come obiettivo quello di ridurre la percentuale di umidità del materiale di sottofondo e aumentare le proprietà meccaniche dello stesso attraverso lo sviluppo della reazione di idratazione della calce con l'acqua presente. La stabilizzazione a cemento viene utilizzata per ripristinare o realizzare uno strato di sottofondo con determinati requisiti di portanza. A seconda dei risultati provenienti dalla caratterizzazione è comunque possibile utilizzare contemporaneamente le tecniche di stabilizzazione;
6. Compattazione meccanica del sottofondo con rullo vibrante (>8t);
7. Realizzazione del pacchetto della pavimentazione sulla base del progetto effettuato. Lo strato di fondazione potrà essere realizzato in misto granulare, legato o no, e in misto cementato (anche in parte). Successivamente si procede alla stesa dei materiali legati avendo cura di porre in atto le normali procedure esecutive, applicando sempre uno strato di emulsione tra i diversi strati di conglomerato bituminoso. Si dovrà provvedere al prelievo del materiale utilizzato in misura sufficiente per eseguire le prove di laboratorio (Marshall, curva granulometrica, % bitume, etc..).

APPENDICE 3

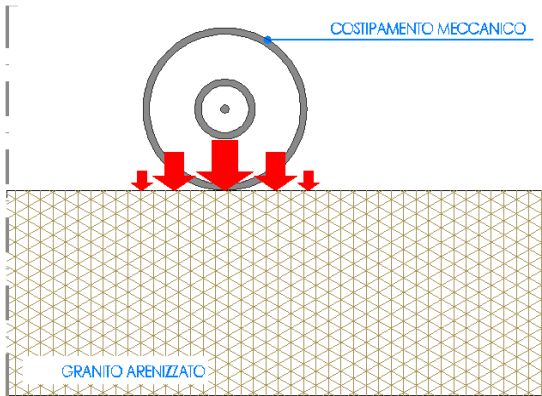
PAVIMENTAZIONE AMMALORATA



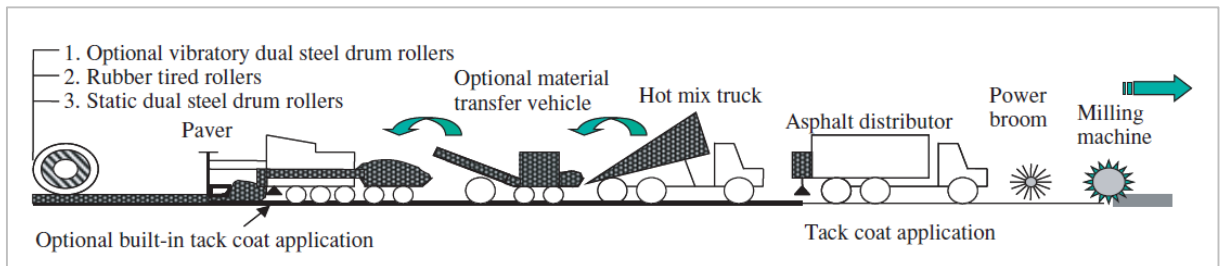
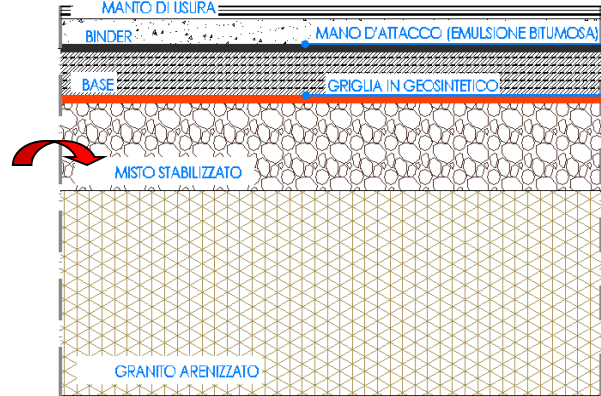
FASE INTERMEDIA



FASE INTERMEDIA



PAVIMENTAZIONE RIPRISTINATA



APPENDICE 3

1.3. Interventi localizzati e urgenti.**1.3.1. Ripristino localizzato con conglomerato bituminoso a caldo M&R.07**

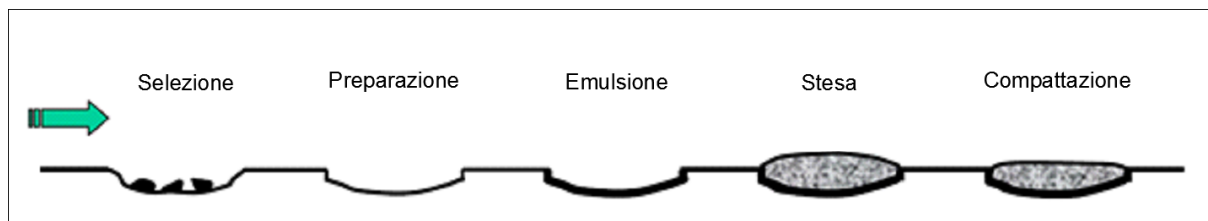
Gli interventi di ripristino di aree ammalorate aventi estensione limitata (≤ 2 mq) o di buche (*small-area patching*) sono interventi di tipo localizzato che consistono nel ripristinare la regolarità superficiale ed eliminare il rischio FOD ricorrendo all'utilizzo di conglomerato bituminoso a caldo. In casi urgenti, e a carattere comunque temporaneo, è possibile applicare la tecnica illustrata anche su pavimentazioni rigide. Gli ammaloramenti che si possono riscontrare sono principalmente legati al distacco dello strato dello strato di usura a causa della precedente esistenza di fessure che hanno consentito l'infiltrazione di acqua tra gli strati della pavimentazione oppure si possono verificare cedimenti localizzati e fessure a "pelle di cocodrillo" che richiedono la rimozione degli strati ammalorati e il ripristino della regolarità superficiale. Le fasi esecutive possono essere così elencate:

- Selezione dell'area d'intervento e valutazione dello spessore interessato; in questa fase, con l'utilizzo di un martello è possibile valutare l'estensione dell'area effettiva in cui si è in presenza di distacco tra gli strati a seconda del rumore emesso al battere sulla pavimentazione. Un rumore "sordo" indica il distacco tra gli strati. E' preferibile incrementare di ca. 20/30 cm per lato l'area interessata per una migliore riuscita della lavorazione.
 - Tracciamento del perimetro da interessare eseguito con macchina taglia-asfalti e rimozione delle parti distaccate. Pulizia dell'area di intervento da impurità e aggregati liberi avendo cura di preparare un supporto idoneo, con pareti di taglio verticali e asciutto. Per rimuovere alcune parti, soprattutto quelle perimetrali, potrebbe essere necessario il ricorso a martelli pneumatici;
 - Applicazione di uno strato di emulsione bituminosa tale da consentire il collegamento tra strato esistente e materiale da stendere;
 - Stesa del conglomerato bituminoso in quantitativo tale da raggiungere, a compattazione avvenuta, la quota della pavimentazione circostante. Qualora lo spessore interessato sia maggiore a 5 cm è preferibile, se i vincoli temporali lo consentono, eseguire la stesa in diversi strati;
 - Compattazione del materiale steso con l'uso di piastra meccanica vibrante o, preferibilmente, rullo tandem o gommato;
 - Sigillare il perimetro interessato con sigillante gommo-bituminoso colato a caldo, eventualmente preparando i giunti con una macchina apri-giunti.
-

APPENDICE 3

L'efficacia dell'intervento manutentivo è legata principalmente alla capacità dell'operatore di individuare l'area effettivamente ammalorata e lo spessore. Particolare cura dovrà essere posta nella preparazione dell'area in modo tale da garantire la rimozione di impurità e umidità per consentire il legame tra i diversi materiali.

Fasi operative:



APPENDICE 3

1.3.2. Riempimento buche con conglomerato bituminoso a freddo M&R.08

1. Attività preliminari

Valutazione dell'entità del degrado, della profondità e della possibile causa.

Monitoraggio frequente.

2. Attività propedeutiche

Asportazione del conglomerato distaccato, di eventuali aggregati liberi e impurità.

Rimozione di parti non più legate con gli strati inferiori.

3. Obiettivi

Ripristino temporaneo e rapido della regolarità superficiale e delle capacità di impermeabilità della pavimentazione in attesa di interventi di tipo definitivo.

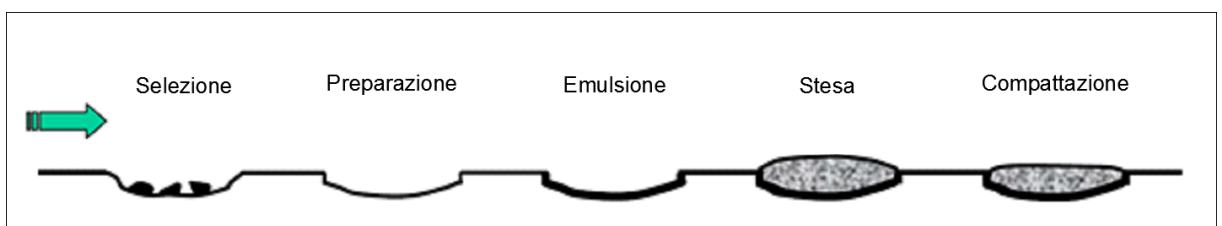
4. Periodo esecuzione

L'intervento non andrebbe effettuato in presenza di temperature troppo rigide.

Deve essere valutato attentamente l'arco di tempo necessario per la realizzazione dell'intervento.

5. Materiali e/o specifiche tecniche

L'intervento consiste nella messa in opera di un conglomerato bituminoso speciale a freddo opportunamente compattato in sostituzione del materiale che si è staccato dallo strato superficiale determinando la formazione di buche effettive o potenziali, di qualunque forma (anche allungata) e dimensione e il distacco di materiale a blocchetti nelle zone in cui si ha presenza di fessure a pelle di coccodrillo molto severe. Con questo tipo di intervento si ripristina la regolarità superficiale della pavimentazione e si impedisce la penetrazione delle acque meteoriche all'interno della stessa. Il riempimento delle buche deve essere considerato un intervento provvisorio per tutelare la sicurezza della circolazione, in attesa di interventi definitivi. Non sono necessari tempi di attesa (per il tradizionale raffreddamento del conglomerato a caldo) prima di poter riaprire al traffico la zona interessata dall'intervento.



APPENDICE 3**1.4. Interventi manutentivi localizzati****1.4.1. Sigillatura fessure pavimentazione flessibile/semi-rigida M&R.09**

Il rilievo di fessure può essere eseguito attraverso ispezione visiva oppure, in larga scala, con strumentazione “Laser Road Imaging System” (LRIS). La sigillatura è un intervento rapido il cui scopo principale è quello di impedire la penetrazione delle acque meteoriche all’interno della pavimentazione evitandone il precoce degrado e rallentando l’evoluzione delle fessure stesse. L’infiltrazione delle acque meteoriche dà inoltre luogo all’espulsione del materiale fino degli strati non legati sottostanti inficiando la stabilità del piano di supporto degli strati bituminosi e delle lastre in calcestruzzo. La fase preliminare sarà dedicata all’apertura e pulizia della fessura ricorrendo a idonee attrezzature (cutter, aprifessure, etc..) per eliminare materiale disgregato e altri materiali e successiva pulitura anche con l’uso di lancia termica per preparare un supporto asciutto. Il periodo esecutivo ottimale è quello che coincide con la stagione autunnale e quella primaverile, coincidendo le stesse con le temperature medie del sito. Ciò per evitare periodi con apertura massima (inverno) oppure periodi con apertura minima (estate).

Tale intervento è eseguito con sigillanti a caldo o a freddo (quelli a caldo sono i più performanti).

I sigillanti a **caldo** sono costituiti da materiale gommo-bituminoso termo-plastico da fondere, opportunamente studiato per garantire la massima adesione ed elasticità fra gli elementi della sede stradale; è costituito da un bitume modificato con gomme termoplastiche, resine asfaltiche, olio di processo e promotori di adesività. Il sigillante è disponibile in piccoli pani per facilitare e velocizzare l’operazione di trasporto e fusione; i pani devono essere disposti in caldaia al fine di raggiungere e mantenere una temperatura che consenta di avere la viscosità richiesta per la colatura nelle fessure; l’applicazione deve essere preceduta dalla pulizia della superficie e dall’applicazione di un primer.

I sigillanti a **freddo** sono costituiti da bitumi modificati e resine poliuretatiche. Non richiedono riscaldamento in caldaia e non emanano fumi nocivi; l’aggiunta di polimeri al bitume consente allo stesso di resistere ai continui cicli di estensione/contrazione cui è sottoposto.



APPENDICE 3

1.4.2. Ripristino zone fessurate poste al di sopra dei cavidotti per l'alimentazione dei fuochi di center line M&R.10

L'intervento è finalizzato a ripristinare le zone interessate da ammaloramento dovuto alla presenza di cavidotti per l'alimentazione dei fuochi di center line. La problematica è dovuta alla presenza di un materiale (corrugato in PE) avente un comportamento meccanicamente diverso qualora sottoposto a sollecitazioni. Una volta rilevata la formazione è necessario avviare un'attività di monitoraggio per valutare l'evoluzione del degrado e l'area interessata.

Fasi esecutive

- Attività propedeutiche

Deve essere accertata la profondità dei cavidotti, la sezione di taglio e le specifiche tecniche dei materiali utilizzati in precedenza per la sigillatura. La pianificazione dell'intervento deve tenere conto del periodo di esecuzione, evitando stagioni con basse temperature e alta probabilità di pioggia.

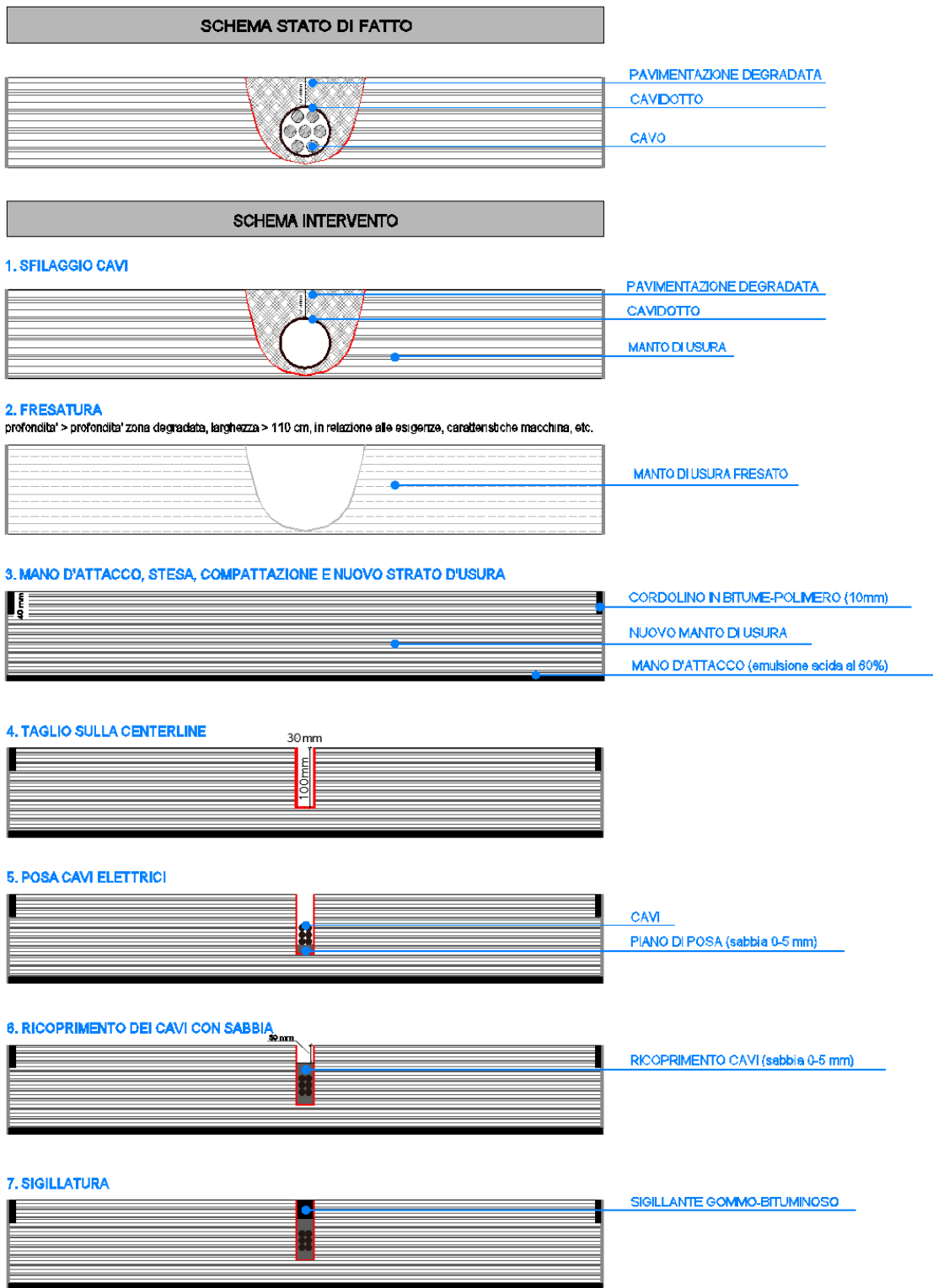
- Pulizia dell'area

La sequenza di attività prevede una prima fase di bonifica della zona attraverso la rimozione della pavimentazione degradata e rimozione del cavidotto previa sfilatura dei cavi; la seconda fase prevede la rimozione con macchina fresatrice di uno strato di conglomerato bituminoso per uno spessore di circa 100/110 mm e larghezza dettata dai macchinari utilizzati (preferibilmente 1 m).

- Ripristino e materiale

Successivamente si procede con la stesa di conglomerato bituminoso modificato additivato con dosaggio in percentuale di polimeri L.D.P.E. (Low Density Polietilene) ed E.V.A. (Etilene Vinil Acetato) a basso peso molecolare e medio punto di fusione, attivanti di adesione, che favoriscono l'adesione bitume-aggregato, e fibre in cellulosa-sintetiche da recupero, microfibra stabilizzante costituita da fibre di cellulosa, fibre sintetiche semi-lunghe e leganti organici. La scelta è motivata dalle elevate prestazioni ottenibili innanzitutto con il bitume additivato con polimeri ed in secondo luogo dall'aggiunta delle fibre che ne migliorano ulteriormente le prestazioni (resistenza a trazione e durata a fatica), gli attivanti di adesione migliorano infine la durabilità all'acqua della miscela. L'ultima fase prevede il taglio con macchina taglia asfalti o fresa a sezione ridotta, larghezza 30 mm, per una profondità di 100/110 mm; all'interno della sezione ricavata si posa uno strato di sabbia fine idoneo per l'alloggiamento dei cavi precedentemente sfilati e che saranno poi ricoperti da sabbia fine. L'ultima fase è quella della sigillatura con l'utilizzo di sigillanti a caldo, costituiti da materiale gommo-bituminoso termo-plastico da fondere, opportunamente studiato per garantire la massima adesione ed elasticità fra gli elementi della sede stradale; il sigillante a caldo è costituito da un bitume modificato con gomme termoplastiche, resine asfaltiche, olio di processo e promotori di adesività.

APPENDICE 3



APPENDICE 3

2. INTERVENTI SU PAVIMENTAZIONE RIGIDA

2.1. Interventi manutentivi globali

2.1.1. Ripristino di lastre in calcestruzzo a medio spessore M&R.11

Obiettivo dell'intervento è il ripristino dell'integrità e della regolarità superficiale di zone localizzate quali ad esempio porzioni di lastra su cui sono presenti fessure d'angolo o buche, al fine di impedire un danneggiamento ulteriore della lastra e la formazione di FOD.

Il ripristino di lastre con intervento a media profondità deve essere realizzato solo per situazioni in cui il degrado è solamente superficiale (≤ 10 cm) e non nei casi in cui ci siano problematiche connesse ad una scarsa capacità di trasferimento di carico.

Fasi esecutive

- Area d'intervento

E' importante valutare l'effettiva estensione dell'area interessata, la quale è spesso maggiore rispetto a quanto ipotizzabile dalla semplice analisi visiva. Una tecnica efficace per determinare la superficie ammalorata è quella di battere la superficie con un martello o una barra metallica e valutare il suono emesso. Un suono "solido" indica un'area in condizioni ottime mentre, al contrario, un suono "sordo", "vuoto", indica un'elevata probabilità di distacco, delaminazione del materiale. Nella fase esecutiva è consigliato aumentare l'effettiva area d'intervento per assicurarsi la totale rimozione della porzione ammalorata. Altre tecnologie possono essere applicate per la definizione degli spessori ammalorati, ossia ricorrendo a indagini non distruttive, quali il carotaggio, e ad alto rendimento, quali GPR - Ground Penetrating Radar e PSPA – Portable Seismic Pavement Analyzer.

- Rimozione del materiale

Una volta determinata l'estensione della superficie da ripristinare, il calcestruzzo isolato deve essere rimosso. Con una smerigliatrice o sega elettrica si effettua un taglio verticale, per la profondità che si stima interessare, realizzato lungo il perimetro dell'area individuata. E' importante evitare di creare rastremazioni superficiali in quanto le stesse possono essere facile causa di futuro ammaloramento.

- Pulizia dell'area

A seguito della rimozione del materiale è necessario preparare l'area garantendo una superficie ruvida e di qualità, fondamentale per assicurare un buon collegamento tra il materiale di ripristino e il calcestruzzo in buono stato, anche sotto l'azione dei carichi e delle variazioni climatiche. La pulizia dev'essere effettuata con acqua per rimuovere la polvere residua e ogni altro elemento che possa compromettere la connessione tra i due materiali.

- Materiale di ripristino

APPENDICE 3

Il materiale di ripristino può essere di diverso tipo ma spesso si ricorre all'utilizzo di calcestruzzo per questioni tecnico-economiche legate alla praticità di applicazione e alla reperibilità nel mercato locale. In generale le caratteristiche cui deve rispondere il materiale utilizzato sono:

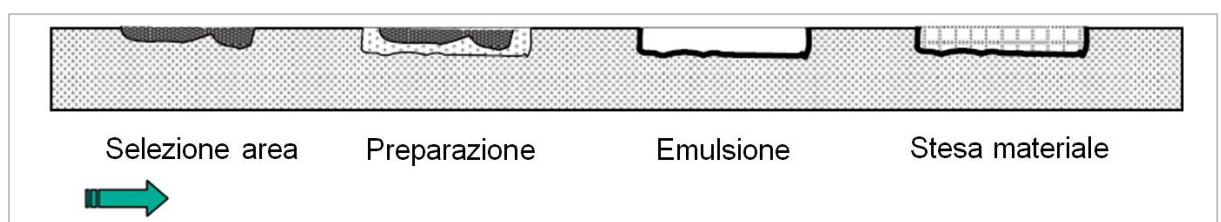
- a. ottimo collegamento con il materiale esistente;
- b. ridotta dilatazione termica;
- c. ridotta variazione volumetrica in presenza di umidità;
- d. resistenza meccanica e modulo elastico simili al materiale esistente.

La scelta dev'essere fatta anche in considerazione dei tempi di maturazione del materiale, privilegiando prodotti a rapida presa, puntando alla riduzione dei tempi di chiusura dell'area interessata. Per contro devono essere messe in atto tutte le pratiche utili a consentire la corretta stagionatura della malta in modo tale da evitare fessurazioni dovute a ritiro o evaporazione dell'acqua contenuta in superficie.

Lo spessore interessato da interventi di ripristino non deve comunque essere $< 4/5$ cm.

- Operazioni finali

Se il ripristino è stato effettuato con l'utilizzo di calcestruzzo o materiali a base cementizia, dev'essere posta attenzione anche nella successiva stagionatura, assicurando la giusta umidità fino a completa maturazione per compensare l'evaporazione di acqua indotta dal calore di idratazione. Poiché l'area e la profondità interessata sono relativamente piccole, il rapporto tra superficie e volume del materiale di riparazione è superiore a quella di una normale pavimentazione in calcestruzzo, rendendo il materiale di riparazione soggetto a variazioni di volume maggiori a causa del ritiro igrometrico. Tuttavia, la miscela dev'essere studiata con l'applicazione di un basso rapporto acqua/cemento.



APPENDICE 3

2.2. Interventi di ricostruzione**2.2.1. Ripristino di lastre in calcestruzzo a tutto spessore M&R.12**

Obiettivo dell'intervento è il ripristino a tutto spessore di lastre su cui sono presenti fessure di tipo trasversale, d'angolo, reticolo di fessure (*shattered slab*) o in caso di ammaloramenti e distaccamenti profondi. Tali ammaloramenti sono prevalentemente legati a difetti esecutivi e alla capacità meccanica degli strati inferiori.

Fasi esecutive

- Area d'intervento

La valutazione dell'area da ripristinare in caso di fessure d'angolo avviene in maniera sostanzialmente visiva, interessando comunque un'area di intervento maggiorata. Qualora il livello di ammaloramento si possa ritenere severo è opportuno procedere al rifacimento dell'intera lastra. Per la determinazione dell'area è possibile anche ricorrere a tecniche non distruttive attraverso il ricorso a prove deflettometriche (FWD/HWD) o l'esecuzione di carotaggi per la valutazione del materiale estratto. E' comunque consigliato effettuare il taglio ad una distanza di ca. 50 cm dal punto di rottura o dalla fessura. In linea generale l'area minima d'intervento deve avere lati pari a 1,80/2,00m.

- Rimozione del materiale

Una volta determinata l'estensione della superficie da ripristinare, la porzione di lastra deve essere rimossa. La prima operazione è effettuare un taglio a tutto spessore lungo il perimetro tracciato preferibilmente con una macchina taglia asfalti a disco diamantato, permettendo la realizzazione di un taglio netto senza danneggiare il calcestruzzo in buono stato. E' importante evitare di creare rastremazioni superficiali in quanto le stesse possono essere facile causa di futuro ammaloramento. Qualora le operazioni debbano essere svolte nel periodo estivo è preferibile effettuare i tagli alla pavimentazione nel prime ore del giorno, con la temperatura del calcestruzzo relativamente bassa, ossia nella fase di contrazione dello stesso.

- Rimozione della porzione di lastra

A seguito delle operazioni di taglio è possibile rimuovere la porzione individuata attraverso due soluzioni: la prima è quella di rimuovere direttamente l'intera porzione con degli apparecchi di sollevamento mentre la seconda è la demolizione in loco del calcestruzzo. La prima è la soluzione tecnicamente migliore in quanto rapida e in grado di consentire l'immediata prosecuzione dei lavori. Nella fase di estrazione è importante assicurare un sollevamento quanto più verticale possibile, per evitare di danneggiare il calcestruzzo in buono stato. Chiaramente la scelta della soluzione da adottare sarà dettata dalla disponibilità di mezzi e attrezzature a disposizione.

- Ripristino della fondazione

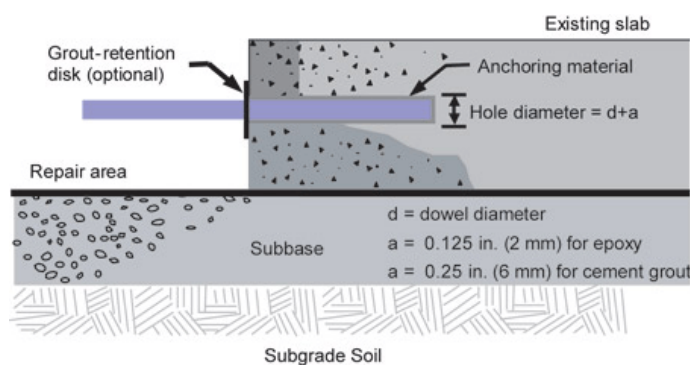
APPENDICE 3

Successivamente alla rimozione della porzione ammalorata devono essere condotte delle verifiche mirate alla valutazione delle caratteristiche fisico/meccaniche dello strato di fondazione, procedendo alla sostituzione dello stesso qualora necessario. Se lo strato di materiale inidoneo si estende oltre l'area interessata occorrerà procedere con l'ampliamento della stessa al fine di evitare la ricomparsa di problematiche analoghe a quelle all'origine dell'intervento. Il materiale da utilizzare dev'essere preventivamente caratterizzato e approvato. L'influenza dello strato di fondazione negli ammaloramenti delle lastre si manifesta soprattutto nel caso di cedimenti localizzati, fessure d'angolo e nel caso di reticolo di fessure, mentre la presenza di fessure isolate è spesso dovuta ad ammaloramento contenuto al solo calcestruzzo.

- Barre longitudinali e trasversali

Negli interventi a tutto spessore dev'essere ripristinata la continuità strutturale dovuta alla presenza di barre longitudinali e trasversali, laddove presenti. L'operazione di ripristino prevede:

- a. esecuzione dei fori per una profondità minima di $33\varnothing$, con interasse pari a quello dell'armatura esistente oppure di 30 cm;
- b. rimozione della polvere dai fori con aria compressa;
- c. riempimento dei fori con boiacca di cemento o resina epossidica evitando la formazione di vuoti, eventualmente ricorrendo all'utilizzo di dischi di ritenzione per evitare la fuoriuscita del materiale.

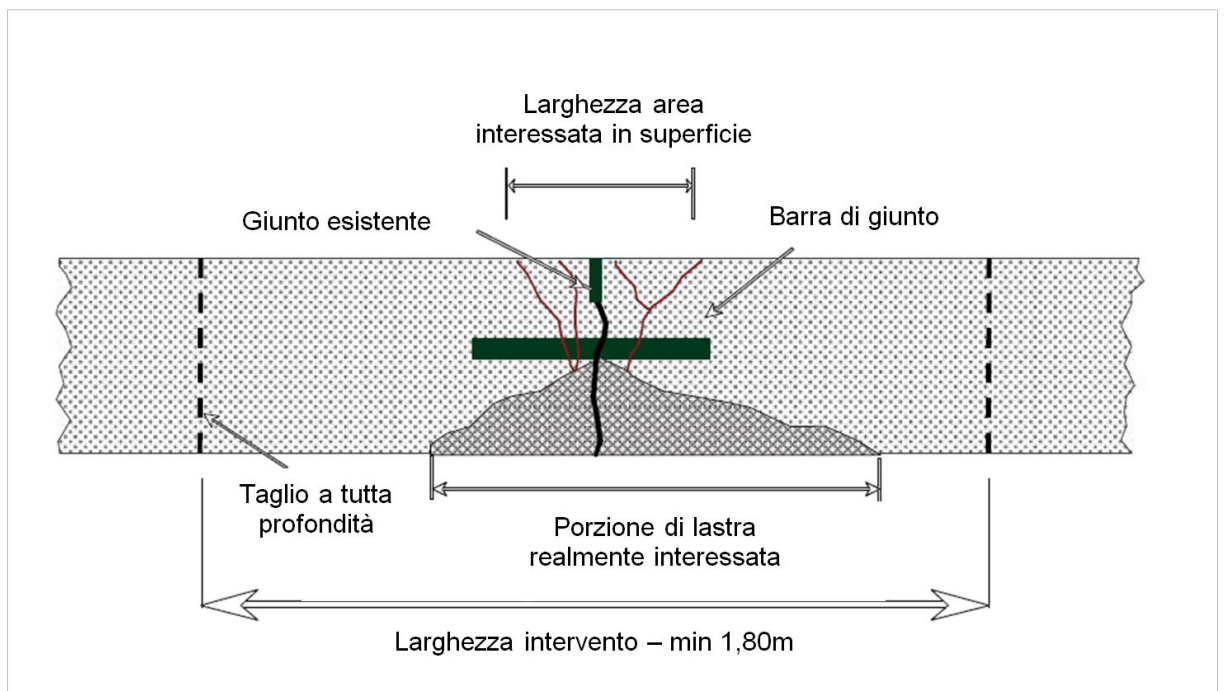
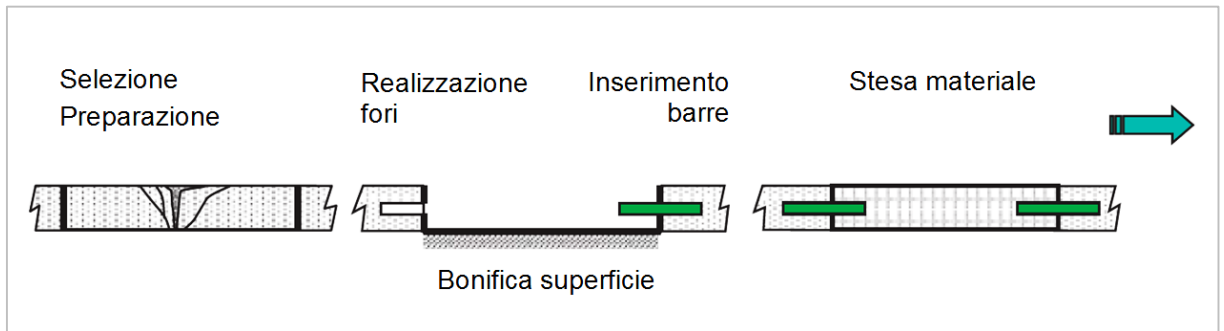


- Getto del calcestruzzo

Il getto del calcestruzzo deve essere realizzato evitando la formazione di vuoti e assicurando l'avvolgimento completo delle barre di armatura, attraverso un opportuno costipamento. La scelta del calcestruzzo avviene in funzione dei tempi previsti di riapertura e delle condizioni climatiche. In generale dev'essere stabilito un rapporto A/C massimo pari a 0,45. Successivamente, durante la fase di maturazione, dev'essere posta particolare attenzione al fenomeno del ritiro. In particolare il ricorso all'utilizzo di calcestruzzi a rapida presa comportano un elevato calore di idratazione che dovrà essere contenuto per evitare la formazione di fessure. Per una corretta stagionatura è necessario assicurare

APPENDICE 3

un ambiente con la giusta umidità attraverso la continua idratazione e l'utilizzo di teli protettivi. E' possibile anche effettuare una stagionatura accelerata con l'utilizzo di vapore a bassa pressione. L'obiettivo è che il calcestruzzo mantenga in una condizione di umidità tale da garantire la perfetta idratazione del cemento; la messa in pratica di queste operazioni consente di ridurre notevolmente il ritiro e l'impermeabilità e prevenire danni irrimediabili che potrebbero seguirne.



APPENDICE 3

2.2. Interventi localizzati e urgenti.**2.2.1. Ripristino localizzato con conglomerato bituminoso a caldo M&R.07**

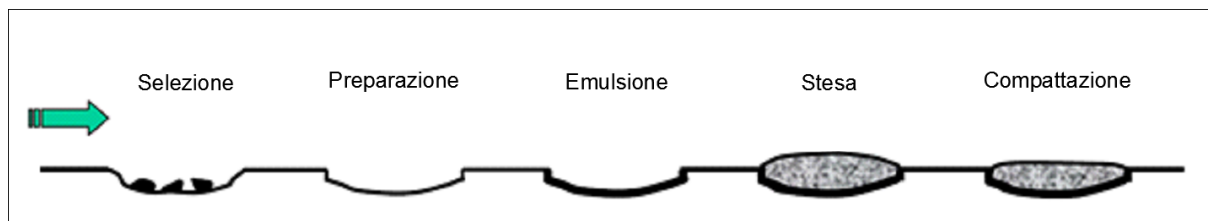
Gli interventi di ripristino di aree ammalorate aventi estensione limitata (≤ 2 mq) o di buche (*small-area patching*) sono interventi di tipo localizzato che consistono nel ripristinare la regolarità superficiale ed eliminare il rischio FOD ricorrendo all'utilizzo di conglomerato bituminoso a caldo. In casi urgenti, e a carattere comunque temporaneo, è possibile applicare la tecnica illustrata anche su pavimentazioni rigide. Gli ammaloramenti che si possono riscontrare sono principalmente legati al distacco dello strato dello strato di usura a causa della precedente esistenza di fessure che hanno consentito l'infiltrazione di acqua tra gli strati della pavimentazione oppure si possono verificare cedimenti localizzati e fessure a "pelle di cocodrillo" che richiedono la rimozione degli strati ammalorati e il ripristino della regolarità superficiale. Le fasi esecutive possono essere così elencate:

- Selezione dell'area d'intervento e valutazione dello spessore interessato; in questa fase, con l'utilizzo di un martello è possibile valutare l'estensione dell'area effettiva in cui si è in presenza di distacco tra gli strati a seconda del rumore emesso al battere sulla pavimentazione. Un rumore "sordo" indica il distacco tra gli strati. E' preferibile incrementare di ca. 20/30 cm per lato l'area interessata per una migliore riuscita della lavorazione.
- Tracciamento del perimetro da interessare eseguito con macchina taglia-asfalti e rimozione delle parti distaccate. Pulizia dell'area di intervento da impurità e aggregati liberi avendo cura di preparare un supporto idoneo, con pareti di taglio verticali e asciutto. Per rimuovere alcune parti, soprattutto quelle perimetrali, potrebbe essere necessario il ricorso a martelli pneumatici;
- Applicazione di uno strato di emulsione bituminosa tale da consentire il collegamento tra strato esistente e materiale da stendere;
- Stesa del conglomerato bituminoso in quantitativo tale da raggiungere, a compattazione avvenuta, la quota della pavimentazione circostante. Qualora lo spessore interessato sia maggiore a 5 cm è preferibile, se i vincoli temporali lo consentono, eseguire la stesa in diversi strati;
- Compattazione del materiale steso con l'uso di piastra meccanica vibrante o, preferibilmente, rullo tandem o gommato;
- Sigillare il perimetro interessato con sigillante gommo-bituminoso colato a caldo, eventualmente preparando i giunti con una macchina apri-giunti (Hajek, Hall, & Hein, 2011).

APPENDICE 3

L'efficacia dell'intervento manutentivo è legata principalmente alla capacità dell'operatore di individuare l'area effettivamente ammalorata e lo spessore. Particolare cura dovrà essere posta nella preparazione dell'area in modo tale da garantire la rimozione di impurità e umidità per consentire il legame tra i diversi materiali.

Fasi operative:



APPENDICE 3

2.2.2. Riempimento buche con conglomerato bituminoso a freddo M&R.08

6. Attività preliminari

Valutazione dell'entità del degrado, della profondità e della possibile causa.

Monitoraggio frequente.

7. Attività propedeutiche

Asportazione del conglomerato distaccato, di eventuali aggregati liberi e impurità.

Rimozione di parti non più legate con gli strati inferiori.

8. Obiettivi

Ripristino temporaneo e rapido della regolarità superficiale e delle capacità di impermeabilità della pavimentazione in attesa di interventi di tipo definitivo.

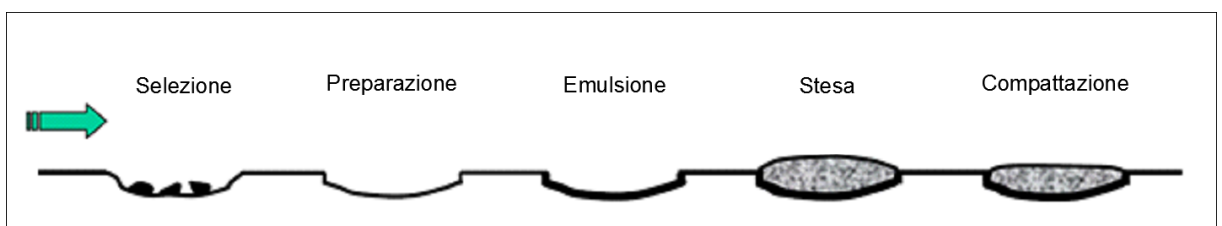
9. Periodo esecuzione

L'intervento non andrebbe effettuato in presenza di temperature troppo rigide.

Deve essere valutato attentamente l'arco di tempo necessario per la realizzazione dell'intervento.

10. Materiali e/o specifiche tecniche

L'intervento consiste nella messa in opera di un conglomerato bituminoso speciale a freddo opportunamente compattato in sostituzione del materiale che si è staccato dallo strato superficiale determinando la formazione di buche effettive o potenziali, di qualunque forma (anche allungata) e dimensione e il distacco di materiale a blocchetti nelle zone in cui si ha presenza di fessure a pelle di coccodrillo molto severe. Con questo tipo di intervento si ripristina la regolarità superficiale della pavimentazione e si impedisce la penetrazione delle acque meteoriche all'interno della stessa. Il riempimento delle buche deve essere considerato un intervento provvisorio per tutelare la sicurezza della circolazione, in attesa di interventi definitivi. Non sono necessari tempi di attesa (per il tradizionale raffreddamento del conglomerato a caldo) prima di poter riaprire al traffico la zona interessata dall'intervento.



APPENDICE 3

2.4. Interventi manutentivi localizzati

2.4.1. Ripristino giunti lastre in calcestruzzo M&R.13

I giunti di dilatazione svolgono una funzione molto importante che consiste nel rimediare alle distorsioni della lastra sottoposta a contrazioni e dilatazioni dovute ai cicli termici alle quali è sottoposta sia durante la giornata sia durante l'alternarsi delle stagioni; si tratta quindi di un elemento particolarmente vulnerabile da sottoporre a regolare monitoraggio.

Il compito del sigillante è quindi quello di evitare la penetrazione di acque meteoriche o altri liquidi potenzialmente dannosi che infiltrandosi negli strati inferiori potrebbero arrivare fino a danneggiare il sottofondo. Allo stesso tempo il prodotto utilizzato deve avere elevate prestazioni di resistenza e durata quando sottoposto a cicli termici e agenti dannosi quali carburante, olio, additivi, etc.. Deve essere impedita anche l'infiltrazione di inerti che, per effetto della loro incompressibilità, determinano il mal funzionamento del giunto e il rischio di rottura localizzata che, col tempo, può interessare una maggiore superficie.

L'intervento di ripristino deve essere stabilito attraverso la valutazione della profondità del degrado; se il degrado interessa il giunto per tutto il suo spessore oppure sono interessati anche i ferri d'armatura è raccomandato effettuare un intervento di risanamento a tutto spessore.

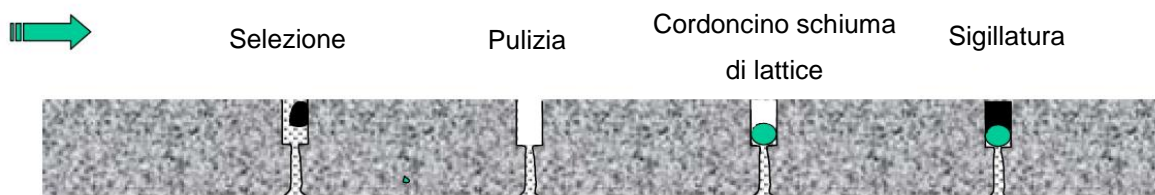
Le tecniche di intervento sono due: ripristino con sigillante a caldo e ripristino con silicone autolivellante.

a. Ripristino con sigillante colato a caldo.

La lavorazione prevede l'utilizzo di sigillante da colare a caldo scelto in base alle caratteristiche prestazionali ricercate, alle condizioni climatiche e ad altre valutazioni a discrezione dell'operatore. La prima operazione consiste nella preparazione del giunto da trattare, che deve essere effettuata con l'utilizzo di idonei macchinari (sabbiatrice, cutter, spazzola metallica, etc..) utili a rimuovere tutto il materiale estraneo e residui di sigillante ormai indurito; in casi estremi, dove non è possibile effettuare una sufficiente pulizia, può essere necessario effettuare un nuovo taglio verticale. La pulizia finale può essere effettuata con l'uso di aria compressa consentendo la rimozione di polvere e altre particelle fini che impedirebbero una ottimale adesione tra le pareti lisce e il sigillante. Deve essere eliminata anche l'eventuale presenza di umidità o di acqua residua da precedenti lavaggi.

Ultimata la fase di pulizia è possibile applicare il sigillante; è raccomandato l'utilizzo di un cordoncino in schiuma di lattice tale da assicurare che sia mantenuto pari a 1:1 il rapporto tra larghezza del giunto e spessore del prodotto applicato; il cordoncino dev'essere di tipo compatibile con il sigillante da utilizzare e non aderirvi.

APPENDICE 3



Il sigillante deve essere applicato in modo uniforme nella striscia precedentemente preparata con l'accortezza di evitare la formazione di bolle o vuoti d'aria; la superficie finita deve essere tra 3 e 6 mm sotto il piano della pavimentazione esistente.

La temperatura minima per l'applicazione del prodotto è di 10° salvo migliori precisazioni derivanti dalle specifiche tecniche del prodotto utilizzato.

b. Ripristino con l'utilizzo di silicone autolivellante a freddo.

Il procedimento da seguire per la preparazione del giunto su cui intervenire, la pulizia e le modalità di applicazione del prodotto sono praticamente le stesse a che devono essere effettuate per l'utilizzo di sigillante a caldo; l'unica differenza consiste nel fatto che il rapporto tra larghezza e profondità deve avere un rapporto pari a 2:1. Nel caso di lastre di nuova realizzazione l'applicazione del prodotto è raccomandata dopo tre settimane dalla esecuzione.

APPENDICE 3

2.4.2. Sigillatura giunti/fessure lastre in calcestruzzo

Il ripristino delle fessure su pavimentazioni rigide può essere effettuato secondo le stesse indicazioni riportate per gli interventi su giunti di dilatazione; nella fase di preparazione e pulizia potrebbe comunque rendersi necessaria la realizzazione della continuità di taglio tra fessure ravvicinate.