

Luca Bianchini Ciampoli • Tiziana Campisi
Vittorio de Riso di Carpinone • Paola Di Mascio
Gilda Ferrotti • Cristina Oretto • Marco Pasetto
Alberto Portera • Dario Ticali

INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI

Didattica, ricerca
e nuove sfide

Rapporto tecnico della S.I.I.V.



Federico II University Press



fedOA Press

INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI

DIDATTICA, RICERCA E NUOVE SFIDE

Rapporto tecnico della S.I.I.V.

*Luca Bianchini Ciampoli, Tiziana Campisi,
Vittorio de Riso di Carpinone, Paola Di Mascio,
Gilda Ferrotti, Cristina Oreto, Marco Pasetto,
Alberto Portera, Dario Ticali*

Pubblicato da FedOA - Federico II University Press
Università degli Studi di Napoli Federico II
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Via Claudio, 21, 80125, Napoli, Italia
web site: <https://www.dicea.unina.it/>
e-mail: dip.ing-civ-ed-amb@pec.unina.it

ISBN: 978-88-6887-371-4
DOI: 10.6093/978-88-6887-371-4

This book is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International
(CC BY 4.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Premessa

La “Società Italiana di Infrastrutture Viarie” (S.I.I.V.), fondata nel 1990, rappresenta il mondo accademico del settore scientifico disciplinare “Strade, ferrovie e aeroporti” con lo scopo statutario di promuovere ed agevolare la diffusione della cultura e delle conoscenze scientifiche nel campo delle infrastrutture di trasporto, sia all’interno degli Atenei, sia rivolgendosi agli Enti operanti nel comparto della mobilità.

I contenuti del settore scientifico disciplinare “Strade, ferrovie e aeroporti” riguardano le teorie, i modelli, le tecniche e i processi per la concezione, la progettazione, la costruzione, l’adeguamento, la manutenzione e la gestione degli asset stradali, ferroviari, aeroportuali e intermodali. Le tematiche prevalenti sono la funzionalità, le prestazioni, la sicurezza, la sostenibilità, il rischio, la resilienza, l’impatto sull’ambiente e il territorio, l’efficacia sociale ed economica degli investimenti nel ciclo di vita, la digitalizzazione e le nuove tecnologie. Sono inoltre approfonditi gli aspetti di modellazione e tecnologici dei materiali tradizionali, innovativi ed ecosostenibili, delle opere e del corpo stradale, delle sovrastrutture e degli impianti, oltre ai sistemi costruttivi, alla qualità, all’organizzazione e alla sicurezza dei cantieri. Sono affrontate altresì le problematiche relative ai dispositivi di sicurezza, alla sicurezza della circolazione, ai fattori umani e all’interazione dell’infrastruttura con i diversi utenti e veicoli, anche a guida connessa e automatizzata.

Della S.I.I.V. fanno parte ricercatori, studiosi e tecnici coinvolti nella progettazione, costruzione, manutenzione e gestione di strade, ferrovie e aeroporti.

Il Presidente della S.I.I.V.
Prof. Ing. Gianluca Dell’Acqua

INDICE

Prefazione.....	7
1 Le Infrastrutture Aeroportuali nella Didattica Universitaria	9
1.1 Quadro generale	9
1.2 Questionario per la ricognizione sulla didattica in tema di infrastrutture aeroportuali.....	10
1.2.1 Struttura del questionario	10
1.2.2 Partecipazione delle sedi al questionario	11
1.3 La didattica nei corsi di laurea triennale	13
1.3.1 Programmi degli insegnamenti	13
1.3.2 Libri di testo e strumenti didattici	15
1.3.3 Seminari tenuti da enti esterni.....	16
1.4 La didattica nei corsi di laurea magistrale.....	16
1.4.1 Programmi didattici e libri di testo.....	17
1.4.2 Risorse didattiche aggiuntive	18
1.4.3 Seminari di professionisti, enti o società del settore	19
1.5 Dottorati di ricerca e master universitari.....	20
1.6 Accordi e tirocini con enti e società di settore	21
1.7 Importanza della parte normativa nell'ambito della didattica	21
1.7.1 L'ICAO e il quadro normativo internazionale	22
1.7.2 L'EASA e il quadro normativo dell'Unione Europea (UE).....	26
1.7.3 L'ENAC e il quadro normativo nazionale	30
1.8 Proposte per la didattica	30
2 Le Infrastrutture Aeroportuali nella Ricerca Universitaria.....	33
2.1 Premessa.....	33
2.2 Aeroporti e territorio	34
2.2.1 Il contributo alla ricerca	34
2.2.2 Criticità e sviluppi futuri	40
2.3 Impatto ambientale dell'esercizio aeroportuale	41
2.3.1 Il contributo alla ricerca	41
2.3.2 Criticità e sviluppi futuri	45
2.4 La sicurezza nelle aree interne agli aeroporti.....	45
2.4.1 Il contributo alla ricerca	45

2.4.2 Criticità e sviluppi futuri	51
2.5 La sicurezza nelle aree limitrofe agli aeroporti	51
2.5.1 Il contributo alla ricerca	51
2.5.2 Criticità e sviluppi futuri	54
2.6 Nuove tecnologie per il design degli aeroporti: I-BIM	55
2.6.1 Il contributo alla ricerca	55
2.6.2 Criticità e sviluppi futuri	57
2.7 Monitoraggio degli aeroporti tramite sensoristica	58
2.7.1 Il contributo alla ricerca	58
2.7.2 Criticità e sviluppi futuri	60
2.8 Le sovrastrutture	60
2.8.1 Manutenzione	61
2.8.2 Materiali	66
2.8.3 Dimensionamento	72
2.8.4 Eliporti	75
2.8.5 Criticità e sviluppi futuri	76
2.9 Urban Air Mobility	77
2.9.1 Il contributo alla ricerca	77
2.9.2 Criticità e sviluppi futuri	78
2.10 La capacità aeroportuale	79
2.10.1 Il contributo alla ricerca	79
2.10.2 Criticità e sviluppi futuri	84
Bibliografia	85

Prefazione

Il presente volume contiene un'approfondita ricognizione effettuata tra i soci della Società Italiana Infrastrutture Viarie (S.I.I.V.), in merito allo stato della didattica e della ricerca riguardante le *infrastrutture aeroportuali*.

L'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC) definisce "aeroporto" un'area delimitata su terra o acqua (comprendente edifici, le installazioni, gli impianti e gli apparati) destinata, in tutto o in parte, all'arrivo, alla partenza ed al movimento al suolo di aeromobili (vd. Regolamento per la costruzione e l'esercizio degli aeroporti). L'infrastruttura aeroportuale è, dunque, il sistema complesso, costituito da area terminale, operativa e di manutenzione che, con i relativi fabbricati, sovrastrutture, impianti ed apprestamenti, consente la mobilità per via aerea.

La S.I.I.V. raccoglie i docenti e i ricercatori universitari del Settore Scientifico Disciplinare 08/CEAR-03/A (già ICAR/04), le cui competenze, ai sensi della declaratoria di cui al D.M. 2/05/2024 n. 639, riguardano le teorie, i modelli, le tecniche e i processi per la concezione, la progettazione, la costruzione, l'adeguamento, la manutenzione e la gestione degli asset aeroportuali, sotto il profilo di funzionalità, prestazioni, sicurezza, sostenibilità, rischio, resilienza, impatto sull'ambiente e il territorio, efficacia sociale ed economica degli investimenti nel ciclo di vita, digitalizzazione e nuove tecnologie.

Dalla sua fondazione e, ancor prima, coi singoli docenti, la S.I.I.V. si occupa, dunque, del sistema aeroporto, indagato nei suoi diversi aspetti, col proposito di contribuire alla conoscenza e allo sviluppo di un comparto strategico per l'economia nazionale. Con il presente volume, la S.I.I.V. intende sinteticamente, ma esaustivamente, divulgare i contenuti dell'attività che essa istituzionalmente ha svolto e svolge nella formazione didattica e nella ricerca relativa a questo fondamentale settore.

All'interno della S.I.I.V. è stato costituito un Gruppo di Lavoro (GdL) che si occupa, in modo specifico, di mobilità ed infrastrutture aeroportuali. Il presente volume costituisce l'esito di una attività preliminare di approfondimento sulla materia, svolta dal GdL.

Gli autori

1 Le Infrastrutture Aeroportuali nella Didattica Universitaria

1.1 Quadro generale

Il Settore Scientifico Disciplinare CEAR-03/A (già ICAR/04), sia nella denominazione “Strade, Ferrovie ed Aeroporti” che nella declaratoria (vd. Prefazione), possiede l’impegno intrinseco dei propri docenti ad erogare didattica in materia di concezione, progettazione, costruzione, adeguamento, manutenzione e gestione degli asset stradali, ferroviari, aeroportuali e intermodali.

In occasione del Convegno-Dibattito *"Formazione universitaria nel settore CEAR-03/A: quali prospettive? | Criticità, opportunità e sfide"* tenutosi a Roma in novembre 2024, la Commissione Didattica della S.I.I.V. ha evidenziato come negli Atenei italiani la maggior parte degli insegnamenti del SSD CEAR-03/A siano impartiti nell’ambito dei Corsi di Studi appartenenti alle classi di laurea L-7 (Laurea in ingegneria civile e ambientale) e LM-23 (Laurea Magistrale in Ingegneria Civile). Dal dibattito è anche emerso che, sebbene le infrastrutture aeroportuali rappresentino un ambito strategico per la mobilità moderna, negli Atenei italiani il numero di insegnamenti specificamente dedicati a questo tema risulta sensibilmente inferiore rispetto al numero di altri insegnamenti, focalizzati principalmente sulle infrastrutture stradali.

Il GdL Aeroporti della S.I.I.V., che ha iniziato le sue attività con il kick-off meeting del 27 febbraio 2025, traendo spunto dalle considerazioni evidenziate nel predetto Convegno-Dibattito di Roma, ha pertanto ritenuto di includere nelle proprie attività una ricognizione sulla didattica in tema di infrastrutture aeroportuali, impartita nelle varie sedi universitarie afferenti alla Società Italiana Infrastrutture Italiane.

In tale quadro, si vuole evidenziare come tale ricognizione non possa essere considerata esaustiva dell’intera realtà italiana in tema di didattica delle infrastrutture aeroportuali, in quanto non tutte le sedi universitarie in cui si

impartiscono insegnamenti appartenenti al SSD CEAR-03/A afferiscono alla S.I.I.V., risultando dunque queste ultime escluse dalla presente ricognizione.

1.2 Questionario per la ricognizione sulla didattica in tema di infrastrutture aeroportuali

Il questionario per la ricognizione della didattica erogata in tema di infrastrutture aeroportuali è stato somministrato ai fiduciari delle sedi degli Atenei italiani i cui docenti afferiscono alla S.I.I.V., ad aprile e maggio 2025. A tal fine, i fiduciari sono stati incaricati di compilare telematicamente un form volto alla raccolta di una serie di informazioni riguardanti gli insegnamenti erogati in Corsi di Laurea Triennali e in Corsi di Laurea Magistrali, indagando inoltre l'eventuale presenza di dottorati di ricerca e/o master universitari attivi sulle tematiche attinenti le infrastrutture aeroportuali, nonché la stipula di potenziali accordi di tirocinio/convenzioni/collaborazioni (terza missione) con aziende operanti nel settore in esame.

1.2.1 Struttura del questionario

Il questionario ha riguardato 4 aree tematiche: insegnamento in corso di laurea, dottorato di ricerca, master universitario e accordi con enti esterni. La maggior parte delle informazioni richieste ha interessato l'area tematica relativa agli insegnamenti erogati in Corsi di Laurea, in quanto più frequenti. Di seguito è riportato il contenuto del questionario nella sua interezza.

- i. INSEGNAMENTI in CORSI di LAUREA
 - a. Nome dell'insegnamento
 - b. Tipo di Corso di Studi a cui afferisce l'insegnamento
 - c. Nome del Corso di Studi
 - d. Classe di Laurea
 - e. Anno in cui viene erogato il corso
 - f. Numero di CFU totali
 - g. Infrastrutture aeroportuali come tema principale o secondario dell'insegnamento

- h. CFU dedicati esclusivamente agli aeroporti nell'ambito dell'insegnamento
 - i. Docente titolare del corso
 - j. Programma del corso
 - k. Eventuali seminari tenuti da enti esterni o soggetti non universitari
 - l. Libro/i di testo di riferimento, se presente/i
 - m. Eventuali visite tecniche presso infrastrutture aeroportuali
- ii. DOTTORATI DI RICERCA
- a. Titolo dell'eventuale dottorato di ricerca attivo su tematiche attinenti alle infrastrutture aeroportuali
- iii. MASTER UNIVERSITARI
- a. Nome dell'eventuale Master/Corso di alta formazione attivo su tematiche attinenti alle infrastrutture aeroportuali
 - b. Tipologia di Master/Corso di alta formazione
 - c. Nome del Direttore del Master/Corso di alta formazione
- iv. ACCORDI CON AZIENDE operanti nel settore aeroportuale
- a. Nome dell'azienda o delle aziende con la/le quale/i sono attivi accordi di tirocinio/convenzioni/collaborazioni, specificando la tipologia di rapporto in essere.

1.2.2 Partecipazione delle sedi al questionario

Delle 29 sedi universitarie afferenti alla S.I.I.V., hanno complessivamente risposto al questionario 28 sedi, sulla cui disponibilità di dati e informazioni necessariamente si basa la presente ricognizione: Politecnico di Torino, Università di Pavia, Università eCampus, Università degli Studi di Brescia, Università degli Studi di Trento, Università degli Studi di Udine, Università degli Studi di Trieste, Università degli Studi di Padova, Università degli Studi di Parma, Università di Ferrara, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, Università della Repubblica di San Marino, Università Politecnica delle Marche, Università degli Studi di Perugia, Sapienza - Università di Roma, Università degli Studi Roma Tre, Università degli Studi dell'Aquila,

Università degli Studi di Napoli Federico II, Università telematica Pegaso, Università degli Studi del Sannio, Politecnico di Bari, Università del Salento, Università della Calabria, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Università degli studi di Palermo, Università degli Studi di Messina, Università degli Studi di Catania, Università Kore di Enna.

Dall'analisi dei dati raccolti, emerge che in **19 sedi universitarie** viene attualmente erogato almeno un insegnamento che affronta, in modo più o meno completo, il tema delle infrastrutture aeroportuali con **33 insegnamenti erogati**; in diverse sedi viene quindi impartito più di un insegnamento in tale ambito. In particolare, l'offerta formativa si articola in maniera piuttosto differenziata da sede a sede:

- per **19 insegnamenti** il tema aeroportuale è **affrontato in modo secondario**, inserito cioè in programmi più ampi, che trattano le infrastrutture di trasporto in generale, includendo anche strade e/o ferrovie;
- per i restanti **14 insegnamenti**, gli **aeroporti costituiscono il tema principale**, con un focus specifico sulla progettazione, sicurezza, gestione e pianificazione delle infrastrutture aeroportuali. Soltanto 4 di questi 14 insegnamenti sono attivi in Corsi di Laurea Triennale, tutti offerti in Classi di Laurea specifiche del settore aeroportuale: tre nella classe di Laurea L-9 (*Ingegneria delle tecnologie aeronautiche e del trasporto aereo* presso l'Università degli Studi RomaTre, *Ingegneria Aerospaziale* presso l'Università Kore di Enna) e il rimanente nella classe di Laurea L-28 (*Scienze e tecnologie della navigazione* presso l'Università degli Studi di Messina). Infine, soltanto una sede (Università degli Studi RomaTre) ha insegnamenti incentrati sugli aeroporti sia nella Laurea Triennale che in quella Magistrale.

Nei paragrafi successivi verranno analizzati i risultati del questionario conoscitivo trasmesso alle Sedi S.I.I.V., distinguendo tra Corsi di Laurea (Triennale) e Corsi di Laurea Magistrale.

I programmi didattici sono sintetizzati e raggruppati per argomenti, così come le informazioni complementari, relative ai libri di testo adottati e alle eventuali visite tecniche organizzate nell'ambito dei vari insegnamenti.

1.3 La didattica nei corsi di laurea triennale

Dal questionario è emerso che, delle 19 sedi universitarie S.I.I.V. in cui viene attualmente impartito almeno un insegnamento che affronta il tema delle infrastrutture aeroportuali in maniera più o meno approfondita, soltanto 8 lo erogano nell'ambito dei Corsi di Laurea Triennale.

Come sottolineato dalla Commissione Didattica della S.I.I.V., la maggior parte delle sedi universitarie che offrono insegnamenti relativi alle infrastrutture aeroportuali nell'ambito delle lauree triennali, lo fa nella classe di Laurea L-7, corrispondente al Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale (Politecnico di Torino, Università degli studi di Udine, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, Politecnico di Bari e Università degli Studi di Padova). Tuttavia, in tutte queste sedi, il tema aeroportuale non rappresenta il nucleo centrale del corso, ma è solo uno dei componenti di un quadro didattico più ampio, integrato con lo studio di strade ed eventualmente ferrovie. Viceversa, in altre tre sedi (Università degli Studi Roma Tre, Università Kore di Enna e Università degli Studi di Messina), gli insegnamenti attivati nell'ambito delle lauree triennali sono impartiti nelle classi di Laurea L-9 e L-28 e sono orientati in modo da porre le infrastrutture aeroportuali al centro dell'attività didattica.

Tutti gli insegnamenti censiti, riguardanti le infrastrutture aeroportuali, vengono erogati al terzo anno di corso, tranne uno erogato al secondo anno.

1.3.1 Programmi degli insegnamenti

Il sondaggio ha evidenziato una notevole varietà di approcci didattici con programmi che, pur condividendo alcuni elementi fondamentali, si declinano in maniera differente a seconda del tipo di laurea a cui appartengono gli insegnamenti, con percorsi più o meno specializzati.

Gli esiti sono stati rielaborati attraverso un processo di aggregazione e sintesi delle tematiche affrontate nelle diverse sedi, mettendo in luce un insieme di argomenti comuni:

- **Pianificazione delle infrastrutture aeroportuali:** valutazione della necessità, sostenibilità e fattibilità dell'infrastruttura; scelta dell'area di intervento sulla base di considerazioni logistiche e di fattibilità

tecnico/operativa; analisi dei flussi e modelli di interazione tra domanda e offerta; valutazioni economiche; aspetti normativi;

- **Aspetti ambientali e sostenibilità:** analisi e mitigazione degli impatti ambientali; strategie di monitoraggio e manutenzione per garantire la sostenibilità dell'infrastruttura;
- **Classificazione aeroporti e orientamento delle piste di volo:** criteri di classificazione degli aeroporti; criteri adottati per la definizione dell'orientamento ottimale delle piste in un aerodromo;
- **Progettazione e dimensionamento:** principi di base per il calcolo e la progettazione delle infrastrutture aeroportuali in termini di caratteristiche geometriche e metodologie di dimensionamento delle sovrastrutture (sia razionali che semi-empiriche) degli elementi aeroportuali fondamentali quali piste di volo, piste di rullaggio, piazzali;
- **Materiali e metodologie costruttive:** materiali e tecniche costruttive impiegate nella costruzione, sia di pavimentazioni flessibili che rigide;
- **Controllo delle operazioni in aeroporto:** gestione spazi aeroportuali; principali sistemi per il controllo del traffico aereo; organizzazione dei servizi per la navigazione aerea; segnaletica orizzontale (markings), verticale (signs), Aiuti Visivi Luminosi (AVL); radioassistenze; gestione delle operazioni di movimentazione in aeroporto;
- **Sicurezza nelle infrastrutture aeroportuali:** principali misure e soluzioni di sicurezza nelle infrastrutture aeroportuali.

La diversità di approcci permette di rispondere alle differenti esigenze formative degli studenti, garantendo al contempo una preparazione tecnica che spazia dalla progettazione specifica degli aeroporti alla comprensione più globale dei sistemi infrastrutturali.

1.3.2 Libri di testo e strumenti didattici

Tutti gli insegnamenti attivati nei Corsi di Laurea Triennale fanno riferimento a uno o più libri di testo, che includono:

- *Planning and Design of Airports*. R. Horonjeff, F.X. McKelvey, W.J. Sproule and S-B- Young. McGrawHill, 2010
- *Airport Planning and Management*. A.T. Wells, S. Young. McGraw-Hill, 2004
- *Transportation Systems Analysis. Models and Applications*. E. Cascetta, Springer, 2009
- *The Modern Airport Terminal: New Approaches to Airport Architecture*, Edwards, Brian. CRC Press LLC, 2005.
- *Sistemi di trasporto: tecnica e economia*. G. Cantarella, UTET Giuridica, 2009
- *Infrastrutture aeroportuali*. P. Di Mascio, L. Domenichini, A. Ranzo. Edizioni Efestò, 2016
- *Strade, Ferrovie ed Aeroporti*, G. Tesoriere, UTET, 1996
- *Strade ferrovie aeroporti*. Andrea Benedetto. UTET, 2015
- *Strade. Teoria e tecnica delle costruzioni stradali*. Santagata F.A. et al., Milano: Pearson, 2019

Soltanto i due insegnamenti impartiti nell'ambito del Corso di Laurea in L-9, *Ingegneria Aerospaziale* (Università Kore di Enna) prevedono visite tecniche presso infrastrutture aeroportuali, evidenziando come per il percorso formativo si prediliga di norma un approccio teorico, lasciando al secondo livello di formazione (Lauree Magistrali) l'esperienza diretta sul campo. Si deve, per il resto osservare che, in taluni casi, la numerosità degli studenti dei predetti corsi rende poco agevole la visita di siti sensibili di interesse, la cui accessibilità è spesso condizionata da ragioni di sicurezza e riservatezza.

1.3.3 *Seminari tenuti da enti esterni*

Nell'ambito dei Corsi di Laurea Triennale analizzati, l'integrazione di seminari tenuti da enti esterni o soggetti non universitari emerge come un elemento didattico mediamente diffuso (4 sedi su 8).

Attraverso questi seminari, gli studenti hanno l'opportunità di approfondire tematiche complementari a quelle trattate in aula. In genere, gli argomenti trattati variano di anno in anno in base al relatore invitato, ma affrontano tematiche cruciali quali la pianificazione e la progettazione di un aeroporto, analizzando aspetti quali il master plan, la sicurezza nelle operazioni di decollo e atterraggio, la scelta dei materiali e la gestione delle infrastrutture, fornendo anche esempi e un'analisi critica della progettazione aeroportuale in ambito nazionale e internazionale.

La collaborazione con realtà esterne permette agli studenti di confrontarsi con esperti operanti nel settore, rappresentando un'importante occasione per collegare i contenuti teorici del corso con le dinamiche professionali e operative del settore aeroportuale, contribuendo a preparare i futuri ingegneri a rispondere alle esigenze di un settore in continua evoluzione.

1.4 **La didattica nei corsi di laurea magistrale**

Gli esiti del questionario evidenziano che, delle 19 sedi universitarie S.I.I.V. in cui viene attualmente impartito almeno un insegnamento che affronta il tema delle infrastrutture aeroportuali, 17 sedi lo offrono nell'ambito dei Corsi di Laurea Magistrale, seppur con differenti livelli di approfondimento e centralità.

Analogamente a quanto osservato per le Lauree Triennali, anche per le Magistrali si conferma il trend individuato dalla Commissione Didattica della S.I.I.V., mostrando come, su un totale di **25 insegnamenti erogati**, 22 vengano impartiti nell'ambito della Classe di Laurea LM-23, corrispondente al Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile e gli altri tre, uno nella classe di Laurea LM-26, *Ingegneria della Sicurezza*, un altro nella classe di Laurea LM-20, *Ingegneria Aeronautica* e il terzo nella classe di Laurea LM-35, *Environmental Engineering*. In 11 dei 25 insegnamenti individuati, le infrastrutture aeroportuali costituiscono il nucleo tematico centrale del corso.

Al contrario, nei restanti 14, il tema aeroportuale è trattato come componente secondaria, integrato in percorsi formativi focalizzati anche su altre tipologie di infrastrutture.

1.4.1 Programmi didattici e libri di testo

In merito ai **contenuti didattici**, gli insegnamenti offrono un'ampia varietà di tematiche, che sono maggiormente approfondite negli insegnamenti incentrati sulle infrastrutture aeroportuali rispetto a quelli in cui gli aeroporti rappresentano soltanto un argomento *a latere* di tematiche più generali riguardanti le infrastrutture.

Gli argomenti trattati sono analoghi a quelli evidenziati nel caso dei Corsi di Laurea (Triennale), ma affrontati con un maggior grado di approfondimento e specializzazione.

Le principali tematiche affrontate riguardano:

- **Introduzione e quadro normativo:** quadro regolatorio e istituzionale nel settore aeronautico, con approfondimento delle normative nazionali e internazionali (ENAC, EASA, ICAO, FAA principalmente);
- **Aeromobile:** peso, tipologia, struttura, dinamica del volo, propulsione e sostentamento, guida dell'aeromobile; profili del volo; manovre di decollo e atterraggio; tecnologie di ausilio alla navigazione;
- **Aeroporto:** pianificazione degli spazi, sia in ambito "air side" (pista di volo, piste di rullaggio, piazzali, hangar) che in "land side" (terminal, vie di accesso, aree di parcheggio, edifici per i servizi); superfici di limitazione degli ostacoli; spazi aerei;
- **Pianificazione e progettazione:** scelta del sito; definizione del piano di sviluppo aeroportuale (master plan); progettazione aeroportuale in termini funzionali (gestione delle flotte, capacità del sistema aeroporto, previsioni di traffico), geometrici (dimensionamento e classificazione delle piste di volo, delle vie di rullaggio, delle vie di uscita rapida, dei raccordi di ingresso in pista, delle aree di attesa, dei piazzali, stopway, clearway, RESA, strip: lunghezza, larghezza, pendenze longitudinali e trasversali, raccordi planimetrici e altimetrici, visibilità ecc.) e

costruttivi (calcolo di pavimentazioni flessibili e rigide, materiali impiegati per la costruzione); introduzione ai software di calcolo delle pavimentazioni; progetto di opere idrauliche in area aeroportuale

- **Aspetti gestionali e di impatto:** gestione dei sistemi di monitoraggio; segnaletica aeroportuale; aspetti economici (analisi dei costi); procedure per la gestione della manutenzione degli asset aeroportuali; principi di sicurezza operativa (vincoli, piani di rischio, valutazione di impatto di rischio); aspetti ambientali (inquinamento acustico ed atmosferico).

Tutti gli insegnamenti evidenziati mirano non solo a trasmettere conoscenze tecniche, ma anche a formare figure capaci di dirigere e gestire le attività operative in un settore in cui le competenze trasversali sono fondamentali.

Non tutti gli insegnamenti all'interno dei Corsi di Laurea Magistrale fanno uso di **libri di testo**. In particolare, in sette corsi non viene adottato alcun libro, prediligendo, in alcuni casi, dispense o slide messe a disposizione dal docente. Al contrario, chi adotta libri di testo utilizza, oltre ai titoli già evidenziati nella formazione triennale, anche i seguenti testi:

- *Infrastrutture aeroportuali*. A. Tocchetti. Aracne, 2006
- *Strade Ferrovie Aeroporti*. Agostinacchio, Ciampa, Olita. EPC Libri
- *Airport Engineering*. Norman Ashford, Paul H. Wright. Wiley & Sons
- *Sicurezza del trasporto aereo*. C. Cacciabue, I. Oddone, I. Rizzolo, Seconda edizione. Milano: Springer-Verlag Italia, 2019

1.4.2 Risorse didattiche aggiuntive

Circa un terzo degli insegnamenti rilevati (9 su 25) prevede per gli studenti la possibilità di effettuare una **visita tecnica** presso un'infrastruttura aeroportuale. Queste esperienze possono svolgersi in siti differenti di anno in anno, a seconda delle opportunità logistiche, delle disponibilità locali e dei rapporti instaurati dai docenti con i gestori aeroportuali. Tali visite consentono di approfondire aspetti quali la gestione operativa e la manutenzione dell'infrastruttura, le attività dei centri di controllo del traffico aereo per comprendere le dinamiche operative e le tecnologie utilizzate, la gestione dei

passaggeri e delle merci, prevedendo in alcuni casi anche l'osservazione diretta dei piazzali ed eventualmente delle piste.

A titolo di esempio, nel questionario sono state evidenziate visite tecniche presso:

- Aeroporto di Bologna
- Aeroporto di Catania
- Aeroporto di Reggio Calabria
- Aeroporto di Roma Fiumicino
- Aeroporto di Treviso
- Aeroporto di Venezia
- Aeroporto di Verona
- Area Control Center (ACC) ENAV di Padova
- Torre di controllo di Venezia
- Training Center (Academy) ENAV di Forlì

In alcuni insegnamenti sono previste **esercitazioni pratiche** in aula, ai fini o meno dello svolgimento di un esame scritto, propedeutico a quello orale. Queste possono riguardare tematiche tecniche avanzate, quali il calcolo e la verifica della lunghezza di una pista di volo, il dimensionamento di un piazzale aeroportuale con relative bretelle di raccordo, il calcolo delle pavimentazioni flessibili e rigide, il calcolo del Pavement Classification Rating (PCR), ecc. In altri casi sono invece previste l'esecuzione e la consegna di **elaborati progettuali**, propedeutici per il superamento dell'esame che può contemplare una prova scritta e/o una orale. In altri casi ancora, non è prevista alcuna esercitazione né elaborato progettuale, ma sono programmate solo lezioni frontali.

1.4.3 Seminari di professionisti, enti o società del settore

Circa un quarto degli insegnamenti attivati nelle Lauree Magistrali (7 su 25) inserisce nel programma uno o più seminari tenuti da professionisti oppure rappresentanti di enti esterni (gestori aeroportuali, personale ENAC ed ENAV), con ospiti ed argomenti che possono variare di anno in anno e principalmente focalizzati sui seguenti temi:

- Safety nel dominio aeronautico con casi studio di incidenti aeronautici

- Monitoraggio delle pavimentazioni aeroportuali e mezzi/attrezzature per l'analisi dello stato delle pavimentazioni
- Pianificazione aeroportuale e progettazione piste di volo
- Impatti ambientali nelle infrastrutture aeroportuali

Tale iniziativa rappresenta sicuramente un prezioso complemento al percorso formativo, favorendo il collegamento tra teoria accademica e necessità operative concrete.

1.5 Dottorati di ricerca e master universitari

In relazione ai Dottorati di ricerca è emerso come non esistano in nessuna delle sedi afferenti alla S.I.I.V. interi corsi di dottorato specificamente incentrati su tematiche attinenti alle infrastrutture aeroportuali.

Tuttavia, presso l'Università degli Studi Roma Tre risulta attivo un **Dottorato di Ricerca** in tale ambito, dal titolo *“Innovative strategies to support planning, engineering and management of airport infrastructures”*.

Tale indagine evidenzia quindi come l'attività di ricerca in tale settore sia ancora circoscritta a realtà accademiche selezionate, lasciando ampio margine di sviluppo e di investimento in ricerca per l'innovazione in questo settore.

Un dato analogo si riscontra anche in merito ai **Master universitari di II livello** in tema di infrastrutture aeroportuali. In due sedi S.I.I.V. (Sapienza - Università di Roma e Università degli Studi di Padova) sono attivi master universitari incentrati sulle seguenti tematiche:

- Costruzione e gestione delle infrastrutture aeroportuali
- Pianificazione, progetto, costruzione e gestione di infrastrutture aeroportuali

Anche se apparentemente numericamente basso, questo dato risulta comunque incoraggiante in quanto il master universitario, contrariamente a quanto accade per il dottorato di ricerca, richiede un impegno attivo da parte dei docenti organizzatori e comporta un investimento economico generalmente significativo da parte degli studenti.

Quanto riportato testimonia, inoltre, come anche al di fuori del contesto accademico sia manifesta una marcata richiesta di formazione nel settore delle infrastrutture aeroportuali.

1.6 Accordi e tirocini con enti e società di settore

Accordi e tirocini con enti e società del settore aeroportuale sono dichiarati da poco più della metà (10 su 19) delle sedi S.I.I.V., con collaborazioni che spaziano da attività nell'ambito di dottorati di ricerca o master di II livello, a tirocini, conto terzi, finanziamenti (e co-finanziamenti) di attività di ricerca e/o borse di dottorato.

Gli enti con i quali si collabora maggiormente sono:

- Aeronautica Militare
- ENAC
- ENAV
- Società di gestione degli aeroporti (Aeroporti di Roma S.p.a., Aeroporto di Ancona, Società Aeroporto di Catania, Sistema Aeroportuale Calabrese, SAVE, Aeroporto Catullo di Verona)
- Imprese e aziende (ADR ingegneria, Cobar s.p.a, Leader s.r.l., Aliserio s.r.l.)

La molteplicità di attori (enti, società e aziende) operanti nel settore delle infrastrutture aeroportuali testimonia la determinazione del comparto a instaurare un partenariato solido e fruttuoso con il mondo accademico.

1.7 Importanza della parte normativa nell'ambito della didattica

Il lavoro sulla didattica universitaria sul tema aeroporti fin qui svolto, ha messo in evidenza un aspetto rilevante: sebbene le tematiche relative agli aeroporti siano presenti nei percorsi formativi della quasi totalità delle università aderenti, si pone spesso poca attenzione all'aspetto normativo e a come il quadro regolatorio possa evolvere nel tempo. Tuttavia, nel contesto aeroportuale questo aspetto è particolarmente critico, in quanto la normativa è alla base di tutte le azioni nel Settore ed è, oltretutto, in continua evoluzione,

a causa della rapida innovazione tecnologica e della crescente attenzione agli aspetti di sicurezza e sostenibilità, in particolare sotto la spinta incisiva dell'Unione Europea (UE).

Alla luce di quanto emerso, questo paragrafo si propone di offrire una sintesi del quadro normativo attualmente vigente, illustrandone le principali articolazioni a livello internazionale, europeo e nazionale, e fornendo indicazioni utili per mantenersi aggiornati sugli sviluppi normativi. L'obiettivo è quello di supportare una didattica maggiormente allineata alla realtà tecnico-regolatoria attuale, contribuendo così a migliorare la qualità dell'insegnamento e la preparazione degli studenti che si formeranno come futuri professionisti nel settore delle infrastrutture aeroportuali.

1.7.1 L'ICAO e il quadro normativo internazionale

Come ben noto, la **normativa internazionale** in ambito aeroportuale, e più in generale in tutti i settori dell'aviazione civile, è guidata dall'ICAO (International Civil Aviation Organization), un'agenzia delle Nazioni Unite fondata nel 1944 con la Convenzione di Chicago, che fissò principi e regole in materia di navigazione aerea e trasporto aereo internazionale. L'ICAO, che ad oggi riunisce 193 stati membri, emana **standard e raccomandazioni** (SARPs – Standard And Recommended Practices) che, pur non essendo direttamente vincolanti per i singoli Stati, costituiscono il riferimento globale per la regolamentazione del trasporto aereo civile.

Uno **Standard** è definito come *“any specification for physical characteristics, configuration, material, performance, personnel or procedure, the uniform application of which is recognized as necessary for the safety or regularity of international air navigation and to which Contracting States will conform in accordance with the Convention; in the event of impossibility of compliance, notification to the Council is compulsory under Article 38 of the Convention”*.

Una **Recommended Practice** è definita come: *“any specification for physical characteristics, configuration, material, performance, personnel or*

*procedure, the uniform application of which is recognized **as desirable** in the interest of safety, regularity or efficiency of international air navigation, and to which Contracting States will endeavour to conform in accordance with the Convention. States are invited to inform the Council of non-compliance.”*

Con lo scopo di regolare in modo organico l'esercizio del trasporto aereo internazionale, l'ICAO ha emanato 19 allegati tecnici ("Annexes") che esprimono la complessità tecnica e operativa della materia regolamentata, al fine di garantire la sicurezza dell'aviazione civile. Gli allegati tecnici o annessi contengono norme (*standards*), cioè prescrizioni la cui applicazione è considerata necessaria per la sicurezza e la regolarità della navigazione aerea, e pratiche raccomandate (*recommended practices*), cioè prescrizioni la cui applicazione è desiderabile per la sicurezza della navigazione aerea.

Gli annessi sono:

Annex 1 – Personnel Licensing (*Licenze del personale*)

Annex 2 – Rules of the Air (*Regole dell'aria*)

Annex 3 – Meteorological Service for International Air Navigation (*Servizio meteorologico per la navigazione aerea internazionale*)

Annex 4 – Aeronautical Charts (*Carte aeronautiche*)

Annex 5 – Units of Measurement to be Used in Air and Ground Operations (*Unità di misura da usarsi nelle operazioni aeree e terrestri*)

Annex 6 – Operation of Aircraft (*Operazioni degli aeromobili*)

Annex 7 – Aircraft Nationality and Registration Marks (*Marche di nazionalità e di immatricolazione degli aeromobili*)

Annex 8 – Airworthiness of Aircraft (*Aeronavigabilità degli aeromobili*)

Annex 9 – Facilitation (*Facilitazioni*)

Annex 10 – Aeronautical Telecommunications (*Telecomunicazioni aeronautiche*)

Annex 11 – Air Traffic Services (*Servizi del traffico aereo*)

Annex 12 – Search and Rescue (*Ricerca e soccorso*)

Annex 13 – Aircraft Accident and Incident Investigation (*Inchieste sugli incidenti e inconvenienti aeronautici*)

Annex 14 – Aerodromes (*Aerodromi*)

Annex 15 – Aeronautical Information Services (*Servizi di informazione aeronautica*)

Annex 16 – Environmental Protection (*Protezione ambientale*)

Annex 17 – Security: Safeguarding International Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference (*Sicurezza: salvaguardia dell'aviazione civile internazionale contro atti di interferenza illecita*)

Annex 18 – The Safe Transport of Dangerous Goods by Air (*Trasporto sicuro di merci pericolose per via aerea*)

Annex 19 – Safety Management (*Gestione della sicurezza*)

Focalizzando maggiormente l'attenzione sugli aspetti di progettazione, manutenzione, gestione e safety degli aeroporti, gli elementi normativi ICAO rilevanti sono contenuti in particolare nei seguenti annessi:

- Annesso 14, che definisce i requisiti geometrici, operativi e di sicurezza per gli aerodromi;
- Annesso 10, che tratta le infrastrutture di telecomunicazione;
- Annesso 9, relativo alla gestione dei flussi passeggeri e merci;
- Annesso 19, che disciplina la gestione della sicurezza operativa (SMS).

L'annesso di maggior interesse per chi si occupa di progettazione e gestione di un aeroporto è il n. 14, "Aerodromes" vol. I. Redatto per la prima volta nel 1951, contiene prescrizioni sulle caratteristiche fisiche, sugli aiuti visivi e sulle limitazioni agli ostacoli che devono essere osservati per gli aeroporti.

In tale contesto, l'ICAO impone agli Stati membri di collaborare per ottenere il più alto grado di uniformità nei regolamenti, nelle procedure e nell'organizzazione del trasporto aereo e, in base all'art. 38, gli Stati membri devono notificare all'ICAO lo status dell'applicazione delle norme (standards), evidenziando le differenze della propria normativa da quella internazionale.

Dal 1° novembre del 2001 è diventato infine applicabile l'emendamento 4 dell'annesso 14 che ha reso obbligatoria la certificazione per gli aeroporti

internazionali, con la quale se ne attesta la conformità ai requisiti dell'annesso 14, sia per le caratteristiche fisiche dell'aeroporto, sia per l'organizzazione aziendale ed operativa del gestore.

Un nuovo standard, applicabile dal 24 novembre 2006, riguarda il Safety Management System (SMS) per gli aeroporti. Il gestore deve dotarsi di un Sistema di Gestione della Sicurezza che descriva la struttura dell'organizzazione, nonché i compiti, poteri e responsabilità del personale, ed assicuri che le attività siano condotte in un modo documentato e controllato.

Gli **aggiornamenti normativi** sono pubblicati regolarmente sotto forma di Emendamenti, Supplementi e Manuali tecnici, consultabili attraverso il sito dell'ICAO o mediante abbonamento. Gli stati membri sono tenuti a recepire o notificare eventuali differenze rispetto agli SARPs attraverso il sistema delle "differences" nel *Supplement to Annexes*.

Oltre agli Annessi, l'ICAO provvede alla pubblicazione di ulteriori documenti di supporto, tra cui: procedure per i servizi di navigazione aerea (PANS - *Procedure for Air Navigation Services*), manuali tecnici (i cosiddetti "Docs", dei quali diversi sono di interesse per la progettazione aeroportuale), piani globali di navigazione aerea e circolari informative su tematiche tecniche specifiche. I "Docs" costituiscono i documenti attuativi degli Annessi, i cui contenuti sono volutamente formulati in termini generali e ampi, per garantire un'applicazione flessibile e adattabile ai diversi contesti normativi, operativi e infrastrutturali degli Stati membri. Questi documenti non hanno di per sé alcun carattere di obbligatorietà.

Tra i documenti tecnici ICAO di maggiore interesse per il settore aeroportuale e legati all'ingegneria civile si segnalano in particolare:

- Doc 9774 – Manual on Certification of Aerodromes
- Doc 9981 – PANS Aerodromes 98
- Doc 9157 – Aerodrome Design Manual (diviso in più parti)
- Doc 9332 – Manual on the ICAO Bird Strike Information System (IBIS)
- Doc 9859 – Safety Management Manual (SMM)

Questi documenti forniscono indicazioni operative dettagliate e raccomandazioni per la progettazione, la gestione, la certificazione e la sicurezza degli aeroporti, integrando e chiarendo i principi contenuti negli Annessi ICAO, in particolare l'Annesso 14.

1.7.2 *L'EASA e il quadro normativo dell'Unione Europea (UE)*

Nel **contesto europeo**, a partire dagli anni Duemila, l'UE ha avviato un profondo processo di armonizzazione normativa in materia di aviazione civile, con l'obiettivo di garantire standard elevati di sicurezza, efficienza e sostenibilità tra tutti gli Stati membri. A tal fine, nel 2002, con il Regolamento (CE) n. 1592/2002, che è stato successivamente abrogato e sostituito dal Regolamento (CE) n. 216/2008, è stata istituita l'EASA (European Union Aviation Safety Agency), che rappresenta l'organismo di riferimento a livello europeo per la regolamentazione tecnica e la supervisione del settore. Oltre ai 27 Stati membri dell'Unione Europea, tramite accordi internazionali, partecipano all'EASA anche la Svizzera, la Norvegia, l'Islanda ed il Liechtenstein.

Il Regolamento (CE) n. 216/2008, comunemente noto come “regolamento basico” (in inglese *Basic Regulation*), ha rappresentato per oltre un decennio il principale riferimento normativo per la regolamentazione della sicurezza dell'aviazione civile all'interno dell'Unione Europea. Questo regolamento aveva lo scopo di armonizzare le normative aeronautiche tra gli Stati membri, stabilendo una base giuridica comune per l'attività dell'Agenzia dell'Unione europea per la sicurezza aerea (EASA), alla quale ha progressivamente affidato competenze sempre più ampie in ambito aeronautico.

Con l'evoluzione del settore e l'emergere di nuove esigenze operative e tecnologiche, il regolamento è stato aggiornato e sostituito dal Regolamento (UE) 2018/1139, noto anche come *new Basic Regulation*, che costituisce oggi il quadro normativo di riferimento in materia. Questo nuovo regolamento ha rafforzato ulteriormente il ruolo di EASA, estendendo le sue competenze non solo alla sicurezza dell'aviazione civile in senso stretto, ma anche a settori emergenti come la sostenibilità ambientale, l'efficienza energetica, la

protezione dei dati personali e lo sviluppo dell'innovazione tecnologica, con particolare attenzione all'integrazione dei droni (Unmanned Aircraft Systems), alla mobilità aerea urbana (Urban Air Mobility) e alla digitalizzazione della gestione dello spazio aereo (U-space).

Il regolamento básico abbraccia un'ampia gamma di ambiti, includendo la progettazione, produzione e manutenzione degli aeromobili; la certificazione dei prodotti, delle organizzazioni e del personale; le licenze e la formazione dei piloti; la sorveglianza da parte degli Stati membri; i servizi di traffico aereo (ATM - *Air Traffic Management* / ANS - *Air Navigation Services*); la sicurezza aeroportuale; e l'approvazione e vigilanza degli aeroporti. L'obiettivo è quello di garantire un elevato e uniforme livello di sicurezza e protezione dei cittadini europei, promuovendo al contempo l'innovazione, la competitività e la sostenibilità del settore aeronautico europeo.

Il principale pilastro normativo europeo per il **dominio aeroporti** è il Regolamento (UE) n. 139/2014, adottato dalla Commissione in attuazione del Regolamento (CE) n. 216/2008 (come detto, oggi sostituito dal Regolamento (UE) 2018/1139, noto come *new Basic Regulation*). Questo regolamento stabilisce requisiti comuni per la progettazione, gestione e certificazione degli aeroporti situati nel territorio dell'Unione Europea, assicurando l'allineamento con gli standard ICAO (a questo proposito, si rammenti il ruolo cogente per gli stati membri detenuto dai Regolamenti europei).

Per facilitare l'applicazione e la consultazione del quadro normativo, l'EASA ha pubblicato le cosiddette *Easy Access Rules (EAR)*: un documento consolidato che raccoglie in modo sistematico tutte le norme giuridicamente vincolanti e i materiali di supporto, rendendoli più facilmente fruibili dagli operatori.

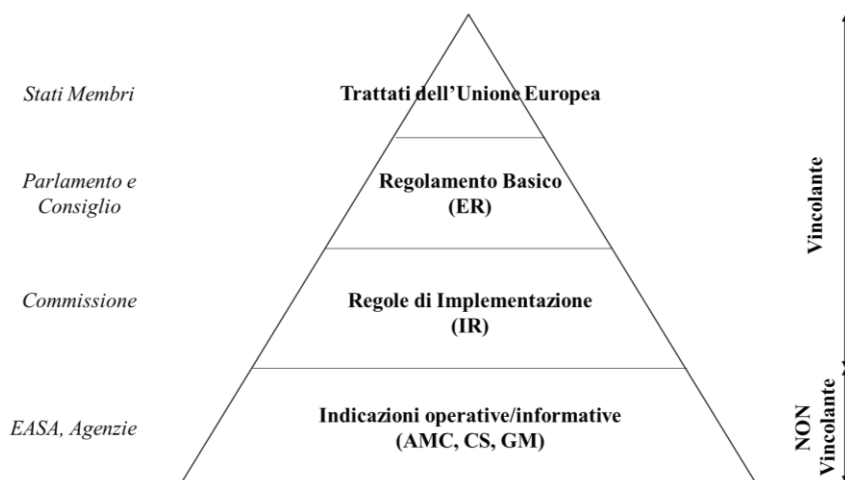
Il sistema regolatorio europeo in ambito aeronautico si articola su diversi livelli:

- Essential Requirements (ER): sono fissati direttamente nel Basic Regulation e rappresentano i requisiti fondamentali e di alto livello che devono essere soddisfatti (ad esempio in termini di sicurezza, protezione ambientale, interoperabilità). Gli ER sono vincolanti (binding).

- Implementing Rules (IR): stabilite dalla Commissione Europea, traducono gli essential requirements in norme tecniche e operative di dettaglio. Sono anch'esse vincolanti e direttamente applicabili in tutti gli Stati membri.
- Acceptable Means of Compliance (AMC): pubblicati da EASA, forniscono una modalità considerata accettabile per dimostrare la conformità a una specifica IR. Non sono vincolanti (non binding): un operatore può adottare altri metodi, purché equivalenti e accettati dall'autorità competente.
- Guidance Material (GM): sempre emanati da EASA, offrono chiarimenti, spiegazioni e orientamenti sull'applicazione delle IR o degli AMC. Non hanno valore vincolante (non binding), ma supportano operatori e autorità nella corretta interpretazione del quadro regolatorio.
- Alternative Means of Compliance (AltMoC): rappresentano soluzioni alternative proposte da un operatore per rispettare le IR, diverse dagli AMC pubblicati da EASA. La loro adozione richiede approvazione da parte dell'autorità competente, che verifica l'equivalenza del livello di sicurezza garantito.
- Certification Specifications (CS): specifiche tecniche pubblicate da EASA, che definiscono standard di dettaglio per la certificazione (ad esempio per infrastrutture aeroportuali, aeromobili, sistemi). Anche queste sono non binding, ma costituiscono una via privilegiata e generalmente riconosciuta per dimostrare la conformità.
- Special Conditions (SC): condizioni speciali per affrontare situazioni in cui i requisiti normativi esistenti non risultano adeguati, ad esempio nel caso di tecnologie innovative non coperte dalle CS, o nel caso di particolare morfologia del territorio in cui è situato l'aeroporto.
- Equivalent Level of Safety (ELOS): meccanismo attraverso cui è possibile dimostrare che, pur non rispettando letteralmente un requisito normativo o una specifica tecnica, l'obiettivo di sicurezza viene comunque raggiunto con un livello equivalente.

In sintesi, si può distinguere tra strumenti *binding* (ER, IR) e strumenti *non binding* (AMC, GM, CS), i quali pur non essendo giuridicamente vincolanti hanno un forte valore pratico e costituiscono la modalità per la dimostrazione della conformità. L'insieme di questi livelli e strumenti normativi garantisce flessibilità, proporzionalità e armonizzazione, permettendo allo stesso tempo l'introduzione di innovazioni nel settore.

Di seguito, attraverso uno schema a piramide, è riportata la gerarchia delle fonti del diritto aeronautico nel sistema europeo dell'aviazione civile. Sopra la Basic Regulation (Regolamento (UE) 2018/1139) ci sono i Trattati dell'Unione Europea, che costituiscono il livello più alto dell'ordinamento giuridico europeo. I trattati sono gli atti fondativi e costituzionali dell'UE e definiscono le competenze dell'Unione, il funzionamento delle istituzioni e i principi fondamentali. Nel trattato di funzionamento dell'Unione Europea è previsto che l'UE possa stabilire regole comuni nel settore del trasporto aereo. Su questa base giuridica è adottato il Regolamento Basico che a sua volta ha delegato la Commissione e l'EASA ad adottare regole più tecniche.



Gerarchia delle fonti del diritto aeronautico nel sistema europeo dell'aviazione civile

1.7.3 L'ENAC e il quadro normativo nazionale

In Italia l'autorità competente per l'aviazione civile è l'ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile), istituito con il D. lgs. 250/1997, che ne definisce le competenze in materia di regolamentazione, certificazione, vigilanza e controllo tecnico-operativo del sistema dell'aviazione civile.

ENAC svolge un ruolo essenziale nel recepimento e nell'applicazione della normativa internazionale (ICAO) ed europea (regolamenti UE e EASA), traducendo, ove necessario, gli standard e le prescrizioni sovranazionali in regolamenti e circolari operative nazionali. In tale modo, ENAC garantisce la coerenza del sistema aeroportuale italiano con il contesto normativo globale, adattandolo alle specificità del territorio e delle infrastrutture nazionali.

ENAC pianifica lo sviluppo del sistema aeroportuale nazionale, definisce i parametri di capacità, rilascia la certificazione degli aeroporti, vigilando sul mantenimento dei requisiti, promuove una rete aeroportuale innovativa che favorisca l'integrazione intermodale tra i mezzi di trasporto, valorizzando il ruolo strategico di queste infrastrutture per il progresso nazionale.

1.8 Proposte per la didattica

Come emerso, il quadro normativo relativo alla progettazione, gestione e manutenzione degli aeroporti e più in generale quello dell'aviazione civile è in continua evoluzione, sotto la spinta delle innovazioni tecnologiche, delle esigenze di sicurezza, sostenibilità e interoperabilità a livello globale.

Ciò comporta la necessità, per chi si occupa di didattica in materia di aeroporti, di mantenere costantemente aggiornati i contenuti e le competenze trasmesse agli studenti. Questa esigenza, però, si scontra spesso con la complessità del quadro normativo multilivello (ICAO, EASA, ENAC) e con la mancanza di strumenti che facilitino l'aggiornamento continuo per i docenti. In questo contesto, diventa strategico individuare una metodologia e degli strumenti che possano supportare l'Università nell'assolvere questo compito in modo sistematico e duraturo. Di seguito si riportano alcune proposte per la didattica finalizzate a mantenere aggiornato il quadro normativo di riferimento, garantendo così un insegnamento sempre allineato alle evoluzioni regolatorie e una formazione adeguata per gli studenti.

- In primo luogo, è fondamentale la consultazione periodica dei siti istituzionali delle principali autorità di regolamentazione. Per facilitare la consultazione, è utile attivare servizi di notifica via e-mail, newsletter, o RSS feed laddove disponibili. In particolare, si suggerisce il monitoraggio continuo delle seguenti pagine web:
 - <https://elibrary.icao.int/home>
 - <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-aerodromes-regulation-eu-no-1392014>
 - <https://www.easa.europa.eu/en/rss>
 - <https://www.enac.gov.it/la-normativa/normativa-enac/>
- È consigliabile, introdurre casi studio reali che richiedono agli studenti di confrontarsi con norme tecniche aggiornate.
- È quanto mai opportuno allegare ai materiali didattici (slide, esercizi, progetti) i riferimenti normativi più recenti, segnalando i link ai regolamenti.
- Si deve programmare di aggiornare annualmente i contenuti dei corsi, prevedendo momenti dedicati alla revisione dei riferimenti tecnici e normativi.

Oltre a ciò, si è ad oggi rivelata una idonea “politica” di medio-lungo termine la strategia di rafforzare la cooperazione tra università, ENAC, EASA, gestori aeroportuali, e professionisti del comparto aeroportuale tramite:

- la stipula di convenzioni tra atenei e autorità, nonché gestori;
- l'organizzazione di seminari e workshop congiunti rivolti a docenti, ricercatori e studenti, invitando chi opera giornalmente nel settore aeroportuale;
- la programmazione di un lavoro continuativo all'interno dei gruppi di lavoro S.I.I.V., finalizzato a garantire il progressivo aggiornamento della didattica di settore.

Oltre all'aspetto normativo, è fondamentale per la formazione dei futuri ingegneri del settore aeroportuale un adeguato ampliamento dell'offerta

didattica, che valorizzi il ruolo strategico del trasporto aereo, spesso ancora sottorappresentato rispetto alle infrastrutture stradali e ferroviarie.

In particolare, nei corsi in cui la disciplina “aeroporti” è condivisa con le altre specifiche del SSD CEAR-03/A come “strade” e “ferrovie”, occorrerà tentare un riequilibrio del peso degli argomenti trattati, dal momento che al mondo aeroportuale è riservato nella maggior parte dei casi uno spazio spesso marginale. Parimenti sarà opportuno incentivare l’istituzione di insegnamenti specialistici, soprattutto nella Laurea Magistrale, anche come stimolo all’inclusione della materia nei corsi post lauream di Dottorato e Master.

L’introduzione di dottorati specifici sulle infrastrutture aeroportuali rappresenterebbe un passo significativo verso una conoscenza più approfondita del settore. Le attività di ricerca dei dottorandi non solo arricchirebbero la conoscenza del settore, ma fornirebbero anche un contributo concreto all’evoluzione didattica in tema aeroporti. Le competenze acquisite dai dottori di ricerca potrebbero essere integrate nei corsi universitari, offrendo agli studenti una formazione aggiornata e in linea con le esigenze attuali e future del comparto aeroportuale.

Il mondo aeroportuale appare spesso affascinante per gli studenti e può fornire spunti di interesse (anche in ottica lavorativa, professionale o di ricerca) per i futuri ingegneri. Pertanto, è attraverso una didattica aggiornata, dedicata e approfondita che è possibile assecondare le curiosità degli studenti e, al contempo, formare tecnici preparati e consapevoli, in grado di operare in un settore di rilevanza fondamentale per l’economia, il benessere, la sicurezza ed il progresso attuale e futuro.

2 Le Infrastrutture Aeroportuali nella Ricerca Universitaria

2.1 Premessa

Gli studiosi del S.S.D. CEAR-03/A, Strade, Ferrovie e Aeroporti, sono da tempo impegnati nella ricerca in materia di infrastrutture aeroportuali, come testimoniato dai testi fondamentali di Giuseppe Tesoriere e Andrea Tocchetti, pubblicati negli anni Settanta ed Ottanta del secolo scorso. Negli anni Novanta la S.I.I.V. ha posto al centro dell'attenzione il tema della Pianificazione e gestione di infrastrutture aeroportuali nel IX Convegno Nazionale tenutosi a Cagliari.

Negli ultimi 25 anni, anche se non sono state numerose le occasioni di confronto collegiale sulla mobilità aerea e le infrastrutture aeroportuali, si è tuttavia assistito alla organizzazione di eventi specifici da parte di varie Sedi, perché i propri studiosi hanno avuto la capacità di seguire ed ispirare la ricerca di settore, scandagliandone i più svariati aspetti. Nel presente volume si evidenzia come i ricercatori S.I.I.V. siano riusciti a cogliere le specificità del mondo aeroportuale, occupandosi di concezione e progettazione geometrica delle infrastrutture, della loro interazione col territorio e l'ambiente, della sicurezza di esercizio e del rischio correlato, della funzionalità delle aerostazioni e delle infrastrutture, della manutenzione e della gestione di queste ultime. Di seguito viene ricostruito lo stato della ricerca del SSD attraverso le pubblicazioni prodotte in circa 30 anni di attività di studio da parte dei soci S.I.I.V..

La disamina si basa, come già per la didattica, sulle informazioni raccolte dalle varie Sedi S.I.I.V. mediante apposita e ripetuta interrogazione dei Fiduciari, interpellati in merito alle pubblicazioni redatte sul tema aeroportuale dai Soci delle relative Sedi. L'indagine ha riguardato lavori pubblicati, in Italia e all'estero, in circostanze e su supporti diversificati, per cui nella successiva ricognizione verranno considerati articoli di rivista, atti di convegno, papers su journal. Laddove sia mancato dalle Sedi il richiesto riscontro, non si è provveduto ad effettuare una più estensiva ricerca bibliografica di documenti

mancanti sugli argomenti analizzati, ciò esulando dallo scopo del presente lavoro.

2.2 Aeroporti e territorio

2.2.1 Il contributo alla ricerca

2.2.1.1 Aspetti generali

Il collegamento tra aeroporto e territorio è mutevole sotto diversi aspetti, perché dipende dalla variazione dei fattori intrinseci ed estrinseci di numerosi sistemi dinamici. Ciascuno scalo ha un proprio rapporto con il territorio servito e questo legame viene costruito in tempo reale attraverso equilibri economici, sociali e culturali, che per loro natura sono delicati e sensibili alle interazioni. Sia gli aeroporti che il territorio sono soggetti ad Organi di Governo che attuano strategie di sviluppo, che spesso falliscono nel coordinamento. Per natura e per come sta evolvendo il mercato, gli aeroporti sono portati ad adottare strategie di gestione molto flessibili, questo perché le richieste del mercato devono essere evase rapidamente. Questa flessibilità si sposa male con gli investimenti pubblici; in generale può essere un forte stimolo per gli investimenti privati. In molti casi il territorio mostra dinamiche diverse: si viaggia su binari paralleli con velocità decisamente più lente, in modo particolare nell'ambito delle infrastrutture e della intermodalità. In un territorio mediamente povero di materie prime e indirizzato all'esportazione dei prodotti, l'aeroporto è cruciale, sia per lo sviluppo locale, sia per la ricerca di nuovi mercati. Lo sviluppo di strategie che regolano le tariffe sulla base delle potenzialità della domanda, come quelle legate ai servizi low-cost, è ormai a regime. Tuttavia, vi sono ancora settori in cui è possibile investire risorse, come nel caso dei voli intercontinentali e delle rotte verso le "nuove economie". Questi investimenti richiedono un supporto da parte del territorio; in particolare è necessario stabilire i contatti commerciali ed attrarre investimenti internazionali [1].

Alcuni Ricercatori hanno investigato negli ultimi anni il ruolo dell'aeroporto nello sviluppo turistico e commerciale delle località che lo ospitano. Fra gli aeroporti studiati, uno degli esempi maggiormente eclatanti è quello di Dubai.

Dubai in breve tempo è diventato uno dei principali hub mondiali, grazie alla Compagnia aerea di riferimento, e la costruzione del nuovo scalo lo ha collocato al vertice delle infrastrutture nel Medio Oriente per mobilità di persone e merci (a titolo indicativo, oltre 90 milioni di passeggeri/anno). Lo sviluppo di un nuovo aeroporto di tali dimensioni vicino al vecchio aeroporto ha dei precedenti. Dopo la Seconda guerra mondiale, per esempio, l'aeroporto "LaGuardia" di New York fu ampliato e, allo stesso tempo, fu costruito l'aeroporto Internazionale "John F. Kennedy" a 17 km di distanza, pur continuando entrambi ad operare quasi a piena capacità. In realtà, se per la New York del primo dopoguerra (l'area metropolitana più popolosa e il centro finanziario per antonomasia) gli aeroporti erano un riflesso della sua importanza, per la Dubai del 21° secolo (seppure un centro finanziario e imprenditoriale) gli aeroporti sono strumenti per rendere la città una destinazione turistico-commerciale importante [2].

Altro caso meritevole di approfondimento è quello di Osaka [3]. Il Kansai International Airport, secondo aeroporto della città giapponese di Osaka, è stato inaugurato nel 1994, interamente costruito su un'isola artificiale, al fine di allontanare l'infrastruttura da aree pesantemente antropizzate e, al contempo, venire incontro alla crescente sensibilità nei confronti dei temi della protezione ambientale. L'opera, basata su un originale progetto italiano (Renzo Piano Building Workshop), si è rivelata di estremo interesse dal punto di vista ingegneristico, in quanto realizzata per fasi successive (con cedimenti del terrapieno di fondazione superiori a 10 metri) e idonea a resistere ad eventi tellurici e meteorologici estremi.

Dal punto di vista infrastrutturale si segnala come l'aeroporto sia stato collegato con la terraferma (a 3 km di distanza) mediante un manufatto a due livelli idoneo a contenere sia una piattaforma stradale che una linea ferroviaria. Quanto all'airside, già nel 2003 si è provveduto a costruire una seconda pista di volo, al fine di incrementare la capacità, che attualmente appare idonea allo smistamento di circa 30 milioni di passeggeri/anno.

Le analisi di cui in [3] si estendono ad un aeroporto italiano anch'esso costruito su waterfront, quello di Genova, per il quale vengono descritte ipotesi di adeguamento innovative, seppur meno ardite di quelle che hanno

ispirato l'intervento, da parte del medesimo progettista, nell'aeroporto giapponese.

In [4] viene ricostruita la storia di un altro aeroporto realizzato a ridosso della costa, ossia quello di Venezia, ripercorrendo le problematiche costruttive e di esercizio che lo hanno contraddistinto negli anni e le soluzioni adottate per superare le difficoltà riscontrate. Vengono infine analizzati i più recenti piani di manutenzione delle sovrastrutture.

Per il miglioramento della pianificazione delle aree aeroportuali e limitrofe la ricerca condotta da [5] si concentra sull'evoluzione della centralità dei nodi aeroportuali nel periodo 2019-2021. Sono stati applicati i metodi di analisi di rete e i risultati mostrano una crescente centralità nella rete di alcuni aeroporti del Sud, un ridimensionamento dell'aeroporto di Roma Fiumicino durante il periodo pandemico e una marginalizzazione nella rete nazionale di alcuni aeroporti minori del Centro-Nord.

Sul tema dell'accessibilità aeroportuale, la ricerca [6] pone l'attenzione sugli scali aeroportuali del Sud Italia e in particolare su quello di Catania, che ha registrato poco più di 10 milioni di passeggeri nel 2023 e che ha subito nello stesso periodo una serie di eventi ciclici e casuali che hanno imposto la chiusura temporanea del sito, creando diverse problematiche per partenze e arrivi e dunque determinando una riduzione dell'accessibilità al sedime. Tale ricerca ha analizzato l'accessibilità dell'area antistante i Terminal A e C, confrontando scenari relativi alle festività, alla stagione estiva e a due eventi catastrofici quali l'eruzione vulcanica e un evento incendiario avvenuto al Terminal A. Attraverso l'uso dei FCD (Floating Car Data) è stato possibile confrontare e analizzare i dati storici sui tempi di percorrenza e sulle velocità effettive su ciascuna strada o percorso, considerando cinque diversi scenari. I risultati hanno dimostrato come l'utilizzo dei dati di traffico possa essere utile nel monitoraggio e nella mitigazione degli impatti legati alla congestione stradale in corrispondenza dei collegamenti con i siti aeroportuali, suggerendo che i gestori delle rispettive infrastrutture possano implementare azioni e strategie a breve, medio e lungo termine per migliorare i livelli di servizio e, in generale, la sostenibilità dei trasporti nelle aree esaminate.

Infine, l'accessibilità delle aree di terminal e i livelli di servizio pedonale sono stati analizzati dalla ricerca [7], che sottolinea come lo studio dei flussi

pedonali abbia una forte influenza sulla capacità delle aree esterne e di terminal e dei servizi correlati. In particolare, la ricerca ha analizzato alcuni scenari reali e teorici afferenti al terminal principale dell'aeroporto di Catania (Terminal A), sottolineando come i dati ottenuti dalla simulazione dei flussi di transito e delle interazioni tra passeggeri può essere utile per indagare diversi scenari all'interno di un terminal, come la manutenzione di determinate aree che potrebbero limitare il transito o simulare scenari di evacuazione in caso di emergenza.

2.2.1.2 La pianificazione aeroportuale

L'articolo [8] affronta il problema dell'introduzione (allora imminente) di aeromobili a grande capacità, necessari per far fronte alla rapida crescita di domanda, e del relativo impatto sui sottosistemi aeroportuali, quali le piste, le taxiways, le taxilanes, i sistemi di sicurezza antincendio, le caratteristiche della pavimentazione, le capacità delle piste e le necessarie modifiche strutturali alle sale di imbarco e tutte le aree destinate ai passeggeri. Tra le maggiori criticità riscontrate vi sono la difficoltà di ampliamento delle aree aeroportuali, dovute a problemi di carattere ambientale e di inquinamento acustico, e la necessità di ingenti investimenti per garantire la sicurezza di passeggeri, equipaggi e personale delle imprese concessionarie operanti nelle aree aeroportuali, che spesso superano largamente il budget disponibile.

Nell'ambito del programma comunitario INTERREG IIC, finalizzato allo sviluppo di politiche di coesione nel bacino del Mediterraneo, il progetto "Medair - Sviluppo delle linee aeree dell'area del Mediterraneo Occidentale & Alpi Latine" è stato concepito per analizzare la rete dei collegamenti aerei nel bacino del Mediterraneo e per individuare gli interventi necessari per far fronte alla crescente domanda di mobilità aerea nei primi anni del 2000. La pubblicazione [9] traccia un'istantanea dello stato delle infrastrutture e della mobilità aerea Campana, focalizzando l'attenzione sulle prospettive future di sviluppo come previsto dal Piano Regionale dei Trasporti e dai Piani di Sviluppo degli Aeroporti.

Un altro importante tema di pianificazione riguarda le strutture a servizio dei terminal aeroportuali, quali il parco mezzi, la dimensione del BHS (Baggage

Handling System), le modalità di imbarco e sbarco dei passeggeri. Lo studio [10] affronta una di queste tematiche; in particolare, tramite un'analisi costi-benefici, gli Autori hanno valutato la convenienza economica dell'installazione di ponti mobili (*fingers, loading bridge*) in scali aeroportuali di medie dimensioni. L'analisi ha concluso che l'installazione di loading bridge a servizio dell'imbarco e sbarco su piazzali adiacenti l'aerostazione fornisce dei buoni vantaggi tra i quali: miglioramento dell'immagine organizzativa dell'aeroporto, riduzione dei tempi di imbarco e sbarco con una superiore percezione di comfort, riduzione dei veicoli circolanti sul piazzale con un incremento della safety delle operazioni. Sono inoltre stati valutati anche alcuni aspetti negativi, tra i quali si annovera la non convenienza economica.

2.2.1.3 *Gli impatti dell'emergenza pandemica Sars-Cov-2 (Covid)*

L'emergenza sanitaria correlata con il virus Sars-Cov-2 (Covid) ha reso necessario limitare il contatto tra le persone, al fine di controllare e ridurre la diffusione della malattia. Le restrizioni, inizialmente adottate in Cina (all'origine del virus), sono state progressivamente estese a tutto il mondo, impattando in particolare sul trasporto aereo a causa dei pericoli determinati dalla prossimità dei passeggeri nelle aerostazioni e negli aeromobili.

Nello studio [11] è stato valutato e discusso l'impatto globale determinato dalla pandemia, la quale ha avuto ricadute eccezionali non solo sulla mobilità delle persone, ma anche sulle principali catene di approvvigionamento (importazioni di cibo, carburante, forniture mediche e beni essenziali) nazionali e internazionali, determinando una depressione delle economie da cui dopo un lustro si sta finalmente uscendo.

Neppure è risultato trascurabile l'impatto sociale della pandemia sul settore dei trasporti, in quanto si è osservata una ridistribuzione della domanda, con suo reindirizzamento verso modi di trasporto ritenuti più sicuri, un aumento dei costi dei servizi (per aumento degli oneri di sanificazione e tutela dei viaggiatori), una riorganizzazione dei mercati su piccola scala, per aumento della domanda locale.

Il predetto studio evidenzia inoltre come l'emergenza sanitaria abbia avuto, seppur non cercate, delle conseguenze positive sull'ambiente, a causa della riduzione della domanda di viaggio e dei servizi di trasporto, che ha condotto a decrementi delle emissioni di gas ad effetto serra e degli inquinanti atmosferici in generale.

Viene, infine, evidenziato come la pandemia abbia fornito la possibilità di avviare una trasformazione del settore dei trasporti, puntando sulla digitalizzazione, su nuove forme di collaborazione pubblico-privato, su una mobilità customizzata attenta a nuove e diverse esigenze di relazione.

In [12] si evidenzia il contributo del trasporto aereo alla gestione e allo sviluppo del turismo, soprattutto verso mete lontane. L'emergenza pandemica da Covid ha ridimensionato gli spostamenti in modo drastico, tant'è vero che la domanda di trasporto passeggeri a livello internazionale ha registrato riduzioni fino al 99% nei mesi centrali del 2020 e una riduzione dei flussi turistici fino al 95%. Ad essere penalizzate soprattutto l'Asia e l'area del Pacifico, seguite da Europa e Americhe.

Le compagnie aeree, i gestori aeroportuali, i Governi statali, si sono dovuti riorganizzare, stipulando accordi per mantenere flussi di traffico aereo sicuro o limitare il flusso di passeggeri, introducendo misure di distanziamento sociale, trattamento dei passeggeri senza alcun contatto, uso di mascherine e guanti, pulizia e disinfezione regolari, ecc. Nei momenti più critici il traffico passeggeri è stato bloccato quasi completamente e i velivoli sono rimasti a terra. Ben presto le compagnie aeree e gli aeroporti hanno dovuto affrontare la crisi finanziaria incombente sul settore.

Al fine di garantire i protocolli sanitari contro la diffusione del virus, aeroporti e compagnie aeree hanno dovuto trovare delle strategie di risposta per far fronte ai costi aggiuntivi. Le strategie di lungo termine in risposta alla crisi sono state diverse a seconda della compagnia aerea; se ne possono identificare principalmente quattro: ridimensionamento dell'impresa (riduzione dei costi per sopravvivere nel breve e/o nel lungo periodo), perseveranza nel mercato (strategia a medio termine, nel quale vengono intrapresi sforzi come il finanziamento del debito per preservare la situazione pre-crisi dell'impresa e delle sue attività), innovazione (rinnovamento attraverso diverse misure, che possono portare anche al cambiamento del business, innovazione tecnologica

e conversione degli aerei passeggeri in vettori merci) e uscita dal mercato (un'uscita forzata per mancanza di ripresa del mercato o un'interruzione delle operazioni come risposta strategica alla crisi in corso).

In molti casi i governi nazionali hanno sostenuto gli sforzi delle compagnie/dei gestori aeroportuali nell'intraprendere strategie innovatrici e di sopravvivenza. Durante la pandemia molti vettori hanno deciso di effettuare servizi "point-to-point", piuttosto che mantenere servizi del tipo "hub-and-spoke" anche nei voli a lungo raggio.

In [13] gli Autori indagano le nuove abitudini dei viaggiatori a seguito della pandemia Sars-Cov-2, con specifico riferimento ai porti e agli aeroporti dell'Adriatico (fra questi ultimi, Rimini, Pescara, Bari, Brindisi, Pola, Dubrovnik). Nel periodo Agosto-Ottobre 2021 è stato distribuito ai passeggeri di navi ed aeromobili in nove terminal di Croazia ed Italia un questionario finalizzato a comprendere come fossero cambiate le abitudini di viaggio a seguito dell'emergenza sanitaria. I risultati dell'indagine hanno evidenziato una riduzione dell'utilizzo del trasporto pubblico, diminuito dal 73% in periodo pre-Covid al 50% durante la pandemia, con un piccolo recupero al termine di questa (56%). Come prevedibile, la principale causa di ostacolo alla mobilità con mezzi collettivi di spostamento è stato il timore per la propria salute, il quale è diventato motivo di forte condizionamento nella scelta modale per 1 utente su 2.

2.2.2 Criticità e sviluppi futuri

È difficile prevedere quale sarà lo sviluppo del trasporto aereo nei prossimi anni e come esso sarà gestito nelle sue molteplici relazioni col territorio.

Infatti, da un lato si osserva che in vari Paesi è proprio allo sviluppo del traffico via aria che si affida lo sviluppo economico, sociale, turistico delle aree interessate (si valutino a riguardo nuove iniziative in Albania, Polonia, Libia, Etiopia, Arabia Saudita, Groenlandia ecc.). Tale aspetto è meritevole di approfondimenti, al fine di comprendere meglio le dinamiche che lo sottendono e gli impatti che ne conseguono.

Al contempo, sono molteplici gli eventi imprevedibili che possono mutare lo scenario dei trasporti e, con esso, lo sviluppo delle infrastrutture aeroportuali e le reciproche interazioni col territorio. Basti pensare alla recente emergenza

pandemica o all'instabilità politica internazionale sfociata in imponderabili eventi bellici o, in tempi poco più remoti, agli atti terroristici, che hanno cambiato il modo di vivere e fruire il trasporto aereo e, in particolare, le infrastrutture ed il territorio più prossimo.

Il futuro riserva alcune incognite, sia in positivo che in negativo, determinate da nuove forme e funzioni di mobilità, aeromobili innovativi, utilizzo liberalizzato degli spazi aerei, evoluzione delle condizioni meteo-climatiche ecc., che determineranno ripercussioni anche sul modo di concepire le infrastrutture, sia landside che airside, e che bisognerà essere pronti a cogliere proattivamente, anche a livello di studio e ricerca.

2.3 Impatto ambientale dell'esercizio aeroportuale

2.3.1 Il contributo alla ricerca

L'impatto ambientale del ciclo di vita delle infrastrutture aeroportuali è associato al consumo di ingenti quantità di combustibili, energia, acqua, alla produzione di emissioni inquinanti in aria, principalmente costituite da gas a effetto serra e particolato, e alla generazione di rumore.

Nel senso più ampio di sostenibilità del trasporto aereo, nell'articolo [14] vengono analizzate le esternalità nel contesto dell'Unione Europea, quantificando l'impatto economico dell'incidentalità, delle emissioni dovute alla produzione di energia e all'inquinamento atmosferico, dell'impatto sul clima e sugli ecosistemi, delle emissioni di rumore. I risultati dello studio evidenziano che la quota di maggiore incidenza è relativa all'impatto sul clima, seguito dalle emissioni associate alla produzione di energia, evidenziando come siano di primaria importanza investimenti sulle innovazioni tecnico-scientifiche per la riduzione delle esternalità di tipo ambientale.

In un'altra pubblicazione [15] si evidenziano i benefici, in termini sociali e urbanistici, oltre che economici, connessi con lo sviluppo infrastrutturale degli scali aeroportuali. La presenza delle infrastrutture aeroportuali in condizioni di massima operatività rappresenta, tuttavia, un elemento dequalificante per il territorio sotto il profilo dell'impatto sull'ambiente (rumore, inquinamento,

acque, ecosistemi), come trattato in modo puntuale da altri lavori, dove si analizzano le possibili procedure di mitigazione degli impatti. Ad esempio, lo studio [16] evidenzia come l'impiego di nuove tecniche ingegneristiche, quali quelle proprie dell'ingegneria naturalistica e dell'ingegneria territoriale, unito all'evoluzione delle tecniche mitigative degli impatti e ad un'attenta riflessione progettuale sulle caratteristiche e sui materiali dell'opera, possano garantire apprezzabili prospettive nella direzione della gestione degli spazi per le infrastrutture nel territorio.

In [17] gli Autori hanno valutato l'impatto ambientale ed economico dell'adozione di strategie e buone pratiche di utilizzo sostenibile delle risorse, con particolare riferimento al consumo di energia e acqua, sulla base di dati raccolti presso 4 aeroporti Italiani e 2 aeroporti Croati nel triennio 2016-2018. I risultati hanno mostrato che il consumo unitario di acqua può essere efficientemente contenuto attraverso strategie quali il monitoraggio delle perdite e la raccolta e riutilizzo di acque piovane. Il contributo maggiore al consumo di energia risulta dal condizionamento degli ambienti, che impatta fino a 5.3 kWh/anno per passeggero; la produzione di CO₂ e il costo associato al condizionamento degli ambienti, infatti, è fino a 4 volte superiore rispetto all'impatto dei veicoli operanti nelle aree aeroportuali. I risultati hanno dimostrato che è possibile azzerare le emissioni di CO₂ dovute ai consumi di elettricità attraverso strategie di mitigazione quali l'installazione di pannelli fotovoltaici e l'utilizzo di fonti energetiche green.

In [18] è quantificato l'impatto sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra (HC, CO, CO₂, NO_x, SO_x) e particolato di quattro strategie alternative a quella convenzionale per la fase di rullaggio degli aeromobili: l'utilizzo di un singolo motore, la riduzione dei tempi della fase di taxi, l'utilizzo di sistemi a bordo e il traino degli aeromobili. I risultati sono stati computati per due diversi orizzonti temporali: a breve termine, con riferimento alle strategie immediatamente implementabili, e a lungo termine, con riferimento a quelle azioni di mitigazione che richiedono investimenti e pianificazione a lungo termine.

I risultati mostrano che, a breve termine, l'utilizzo di un unico motore nelle fasi di taxi permette di ridurre in media le emissioni del 21%, mentre il consumo di carburante si riduce dell'8,6%. Le strategie più efficienti a lungo

termine consistono nella riduzione dei tempi nella fase di taxi-in (-31.9% consumi ed emissioni) e nell'utilizzo di sistemi di navigazione on-board nella fase di taxi-out (-57.6% consumi ed emissioni).

Lo studio [19] quantifica, attraverso consolidati modelli scientifici, le emissioni di gas inquinanti ad effetto serra nelle aree aeroportuali per individuare se il maggior contributo sia offerto dai veicoli e dagli aeromobili a terra o dagli aeromobili durante le fasi di decollo e atterraggio, individuando attraverso casi studio applicativi le possibili misure di mitigazione dell'inquinamento dell'aria. I risultati hanno mostrato come le emissioni di gas CO₂, CO, NO_x e HC derivanti dalle fasi di atterraggio e decollo degli aeromobili risultino superiori di 1-2 ordini di grandezza rispetto a quelle associate ai veicoli e agli aeromobili operanti a terra. L'efficienza di diverse azioni di mitigazione è stata quantificata calcolando la riduzione delle emissioni inquinanti e la relativa riduzione del costo del combustibile necessario rispetto allo scenario corrente, confermando l'efficacia delle azioni di mitigazione sulla riduzione dei costi e dell'impatto ambientale.

In altri studi [20, 21] viene computato il contributo del traffico di superficie nelle aree limitrofe all'Aeroporto Internazionale di Ciampino sulle emissioni totali di gas inquinanti per individuare strategie di mitigazione e orientare le politiche sul trasporto pubblico locale attraverso un ampliamento del concetto di multi-modalità nel trasporto urbano che preveda anche la partecipazione dei gestori del trasporto aereo.

In [22] vengono analizzati nuovi e futuribili scenari e strategie per un aumento della sostenibilità del trasporto aereo. L'articolo analizza il contributo della ricerca e dell'innovazione nella mitigazione dell'inquinamento atmosferico determinato dalla mobilità aerea, che oggi concorre per quota-parte non irrilevante al cambiamento climatico in conseguenza delle emissioni correlate. Vengono allora esaminati i benefici potenziali dei cosiddetti carburanti sostenibili (SAF), di forme alternative di alimentazione (dall'elettrico all'idrogeno sino all'ibrido), dell'ottimizzazione dell'ATM (Air Traffic Management), sollevando l'attenzione sulla necessità di un ridisegno delle infrastrutture aeroportuali per far fronte alle mutevoli esigenze delle nuove forme di mobilità.

La continua crescita del traffico aereo e la sovente vicinanza delle aree aeroportuali ai centri urbani spingono i gestori aeroportuali a individuare opportune misure di mitigazione del rumore per migliorare la sostenibilità ambientale e sociale degli aeroporti. In [23] gli Autori hanno valutato l'efficienza di una strategia di mitigazione del rumore messa in atto dall'ente gestore dell'Aeroporto Internazionale Guglielmo Marconi di Bologna per la fase di decollo dalla pista 12, consistente in una specifica procedura di salita iniziale dell'aeromobile al decollo. L'efficienza della strategia è valutata attraverso la comparazione delle curve di rumore pre- e post-intervento, contestualizzate rispetto all'esposizione della popolazione e degli edifici nelle aree interessate dal rumore, offrendo agli enti gestori una utile metodologia di valutazione dell'efficienza delle azioni di mitigazione dell'impatto del rumore.

Il tema dell'impatto acustico delle infrastrutture aeroportuali viene affrontato anche in [24], in cui gli Autori sviluppano uno studio sul rumore prodotto dal traffico aereo in avvicinamento e decollo dall'aeroporto di Napoli Capodichino. Lo studio è basato sui risultati ottenuti attraverso le simulazioni eseguite dal software INM (Integrated Noise Model) applicato alle traiettorie di entrata e di uscita dall'aeroporto di Napoli vigenti nel 2000. Nello studio, gli Autori esaminano e confrontano le curve isofoniche prodotte dai principali aeromobili attivi sull'aeroporto di Napoli. Infine, vengono allegate allo studio le curve isofoniche pesate secondo il traffico, l'ora dell'operazione e la traiettoria di volo sul territorio della città di Napoli.

L'implementazione del modello INM è stata ulteriormente trattata in [25] mediante una fase di controllo e calibrazione dello stesso effettuata con rilievi sperimentali realizzati con attrezzatura appositamente dedicata (fonometri). Un fattore importante di cui si è tenuto conto nello studio è l'orografia del terreno, con una procedura sviluppata nel corso della ricerca. Detto fattore è ancora oggi poco considerato negli studi professionali a causa della difficoltà di reperire il file di input del terreno in un formato che è disponibile solo per gli USA.

2.3.2 Criticità e sviluppi futuri

L'impatto ambientale determinato dall'esercizio aeroportuale costituisce uno dei temi verso i quali i Ricercatori hanno indirizzato le loro indagini, soprattutto nelle ultime decadi, quando è cresciuta la sensibilità nei riguardi delle tematiche che investono la tutela della salute umana e degli ecosistemi. Il cambiamento climatico (aumento delle temperature, eventi meteorologici estremi), dopo lunghi periodi di negazionismo, è stato posto in relazione acclarata con l'inquinamento atmosferico e ciò ha accresciuto l'interesse degli studiosi verso un tema che è divenuto di stringente attualità.

Va detto che alcuni aspetti della ricerca richiedono ulteriore approfondimento perché investono aspetti di più difficile valutazione, in quanto soggetti a rapida e incerta evoluzione; in primis, l'influenza delle geometrie e delle prestazioni di aeromobili di nuova generazione sulla progettazione di infrastrutture e aerostazioni, nonché le mutazioni climatiche e il loro impatto sull'esercizio aeroportuale.

2.4 La sicurezza nelle aree interne agli aeroporti

2.4.1 Il contributo alla ricerca

Nelle aree interne agli aeroporti il tema della sicurezza, nell'accezione di safety, viene affrontato dal gestore con una serie di interventi che tendono alla riduzione del rischio di incidente. Tale rischio può essere diminuito agendo sia sulla probabilità di accadimento di incidente che sulla gravità dell'evento. La prima può essere ridotta mediante interventi di tipo operativo (controllo del traffico aereo, regole di circolazione a terra, ecc.), sul secondo aspetto invece si può agire con interventi di tipo infrastrutturale (strisce di sicurezza o strip, Runway End Safety Area - RESA). L'organizzazione delle aree di sicurezza e dell'operatività viene definita nei documenti del Safety Management System (SMS), come richiesto da normativa internazionale e nazionale. Un'analisi del problema della sicurezza in airside negli aeroporti è affrontata in [26], dove gli Autori considerano le potenzialità del SMS che, nel tempo, è divenuto strumento conclamato di gestione delle aree operative, anche a seguito delle più recenti regolamentazioni.

Gli incidenti più gravi che avvengono nel sedime aeroportuale sono le incursioni e le escursioni di pista e, fra queste, la ricerca nelle università italiane ha analizzato due tipologie di incidente: l'overrun (superamento della pista) e il veer-off (uscita laterale dalla pista).

Le caratteristiche superficiali delle piste di volo costituiscono un fattore determinante nell'accadimento di entrambi i tipi di incidenti e pertanto è molto importante valutare la sicurezza delle piste aeroportuali durante forti temporali, con particolare attenzione al fenomeno dell'aquaplaning. Il sistema di supporto alle decisioni (DSS) proposto in [27] indaga la geometria delle piste e le caratteristiche della pavimentazione in diverse condizioni idrologiche e calcola dinamicamente lo spessore del velo d'acqua attraverso un modello idraulico che integra numericamente le equazioni differenziali complete di energia e massa, con la soluzione matematica dell'algoritmo di flusso variabile validata per garantirne l'affidabilità. Il DSS è basato su un modello "a tre punti" che simula la diminuzione della resistenza allo slittamento durante il temporale, mediante il quale è stato dimostrato che gli eventi piovosi di brevissima durata (circa 5 minuti) sono i più critici per la sicurezza delle piste. Un tale sistema risulta essere uno strumento prezioso per la gestione proattiva della sicurezza aeroportuale in condizioni meteorologiche avverse.

Gli incidenti di overrun, estremamente pericolosi per la vita umana, sono causati principalmente da: errori umani che portano a perdita di controllo, alta velocità di avvicinamento e atterraggio lungo. Per contenere le conseguenze di tali incidenti, i principali aeroporti internazionali implementano sistemi avanzati di arresto dei materiali nelle RESA.

In [28] vengono analizzate le potenzialità dei letti di arresto, ovvero i dispositivi a decelerazione progressiva, da realizzare nelle RESA. Viene proposto un modello matematico finalizzato alla stima dello spazio necessario alla completa decelerazione del velivolo basato sul principio fisico di interazione dinamica tra aeromobile e letto di arresto, tenendo conto anche della geometria e del tipo di materiale costituente il letto di arresto. Dalle simulazioni effettuate emerge come il modello sia in linea con quanto registrato nell'ambito di esperimenti in vera grandezza e permetta di individuare le condizioni ideali per la limitazione del contraccolpo. La

soluzione costruttiva proposta contempla letti con raccordo iniziale a spessore variabile e, per la limitazione dello spazio di arresto, una realizzazione con materiali quali le schiume fenoliche.

Le caratteristiche della RESA sono state analizzate in [29] utilizzando tecniche di Georadar (Ground-Penetrating Radar, GPR). In particolare, due GPR accoppiati al terreno sono impiegati in esperimenti di laboratorio e sul campo per inferire il rapporto di portanza del suolo nelle Aree di Sicurezza della Pista. La procedura è convalidata attraverso test CBR (California Bearing Ratio) e misurazioni in situ utilizzando il Light Falling Weight Deflectometer (LFWD). Assumendo che le caratteristiche meccaniche del suolo dipendano dalle interazioni delle particelle e che le proprietà dielettriche siano correlate alla densità apparente del terreno, lo studio presenta una promettente relazione empirica tra il rapporto di portanza e la costante dielettrica. I risultati indicano che l'approccio GPR può essere un metodo efficace per la valutazione rapida e non distruttiva della capacità portante delle aree di sicurezza delle piste. Questo può migliorare l'efficienza delle operazioni di manutenzione e garantire la sicurezza delle infrastrutture aeroportuali.

La gravità degli incidenti di veer-off dipende dallo stato di manutenzione dell'Area Bonificata e Livellata della strip delle piste (la cosiddetta Cleared Graded Area, CGA). L'articolo [30] propone un modello numerico di previsione per la formazione di ormaie (rutting) basato su un approccio semplificato agli Elementi Finiti (FEM), che offre un buon compromesso tra accuratezza e velocità di calcolo, rendendolo adatto per l'uso quotidiano nella gestione aeroportuale. I risultati ottenuti dal modello sono stati validati tramite misurazioni in situ con il LFWD. Questo strumento può aiutare gli operatori aeroportuali a migliorare la sicurezza delle piste, fornendo previsioni affidabili sulla formazione di solchi nella CGA e supportando le decisioni sulla manutenzione preventiva.

Il veer-off rappresenta una delle principali cause di incidenti aeroportuali, pari a circa il 40-50% degli eventi registrati dall'ICAO. Per tale motivo, una metodologia per la valutazione quantitativa del rischio di veer-off è uno strumento utile per il gestore aeroportuale per identificare le aree a maggior rischio e definire un Target Level of Safety (TLS). Una tale metodologia è

descritta in un articolo in due parti [31, 32] in cui vengono analizzate le cause più frequenti e le conseguenze di questo tipo di incidenti. I dati statistici raccolti in tutto il mondo dagli autori sono stati utilizzati come riferimento per condurre valutazioni della frequenza e del rischio di veer-off. Nella prima parte dell'articolo è stata valutata la probabilità di un incidente di uscita laterale, rappresentando il fenomeno con una distribuzione di probabilità cumulativa. I risultati mostrano che la frequenza media di un incidente di veer-off è di 1.44 ogni dieci milioni di movimenti per i voli commerciali di peso superiore a 30 t e che tali incidenti sono più frequenti durante l'atterraggio che durante il decollo. La seconda parte valuta il livello di sicurezza garantito dalla CGA e sviluppa un modello di incidenti in veer-off per quantificare il rischio di un evento. Viene inoltre presentato un esempio di applicazione del modello conforme ai requisiti del Regolamento ICAO per piste di Codice A non strumentali. Nel complesso, i risultati ottenuti mostrano che il modello proposto contribuisce all'implementazione dei SMS negli aeroporti, come previsto dall'ICAO. L'analisi proposta consente di calcolare la probabilità di veer-off in qualsiasi aeroporto, considerando le sue condizioni specifiche (numero e tipo di aerei, tipo di movimento, capacità portante del sottofondo, ecc.).

In [33] il metodo è stato applicato a diverse categorie di pista e tipi di movimento. I livelli attuali di rischio di veer-off variano tra gli ordini di grandezza di 10^{-8} e 10^{-10} , a seconda della categoria di pista e del tipo di movimento e delle caratteristiche geotecniche e geometriche della CGA. Si evidenzia come i miglioramenti alla CGA, anche se limitati a una parte dell'area, possano ridurre significativamente il rischio di incidenti di veer-off. Viene fornito un esempio di applicazione della metodologia per stimare la riduzione del rischio ottenuta con diverse dimensioni e configurazioni della CGA.

Il modello è stato applicato per la valutazione del rischio di veer-off anche per un aeroporto italiano con circa 12.000 movimenti annuali [34].

Il modello è stato in seguito aggiornato con dati recenti [35] e applicato su un aeroporto internazionale per il quale è stata creata una mappa di rischio attraverso l'analisi di dati registrati in loco (vento, traffico, caratteristiche geotecniche), evidenziando le aree critiche.

La sicurezza nel sedime aeroportuale deve essere garantita anche in presenza di cantieri in airside. La valutazione del rischio in questi casi è stata analizzata in [36] con un approccio che, ancora una volta, considera la probabilità di un incidente e la gravità delle sue conseguenze. Il rischio è calcolato per diversi scenari che variano in termini di traffico aereo, dimensione degli ostacoli e visibilità (diurna o notturna). La configurazione del traffico aereo è un fattore critico nel determinare la probabilità di incidente. Inoltre, la combinazione di visibilità e dimensioni del cantiere influisce significativamente sul livello di rischio. Questo studio fornisce uno strumento utile per la valutazione quantitativa del rischio associato alla presenza di cantieri in airside e può aiutare l'organizzazione delle fasi lavorative.

CAPITOLO 2. LE INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI NELLA RICERCA UNIVERSITARIA

Values of R in N zone					Runway centerline	Values of R in S zone				
-150	-140	-105	-75	-50		50	75	105	140	150
2.82E-09	3.44E-09	6.96E-09	1.28E-08	2.15E-08	-	1.11E-08	6.61E-09	3.58E-09	1.77E-09	1.45E-09
ALPHA					27	1.11E-08	6.61E-09	6.45E-10	3.19E-10	2.61E-10
1.41E-09	1.72E-09	3.48E-09	6.42E-09	1.07E-08		1.11E-08	6.61E-09	6.45E-10	8.85E-11	7.25E-11
1.41E-09	1.72E-09	3.48E-09	6.42E-09	1.07E-08		1.11E-08	6.61E-09	6.45E-10	8.85E-11	7.25E-11
1.41E-09	1.72E-09	3.48E-09	6.42E-09	1.07E-08		1.11E-08	6.61E-09	6.45E-10	8.85E-11	7.25E-11
1.41E-09	1.72E-09	3.48E-09	6.42E-09	1.07E-08		1.11E-08	6.61E-09	6.45E-10	3.19E-10	2.61E-10
1.41E-09	1.72E-09	3.48E-09	6.41E-09	1.07E-08		1.11E-08	6.61E-09	3.58E-09	1.77E-09	1.45E-09
1.41E-09	1.72E-09	3.48E-09	6.41E-09	1.07E-08		1.11E-08	6.61E-09	3.58E-09	1.77E-09	1.45E-09
1.41E-09	1.72E-09	3.47E-09	6.40E-09	1.07E-08		1.10E-08	6.59E-09	3.57E-09	1.77E-09	1.45E-09
BRAVO						1.10E-08	6.59E-09	3.57E-09	1.77E-09	1.45E-09
1.41E-09	1.72E-09	3.48E-09	6.43E-09	1.08E-08		1.11E-08	6.62E-09	3.59E-09	1.77E-09	1.45E-09
7.05E-11	8.60E-11	1.74E-10	3.21E-10	5.38E-10		2.22E-08	1.32E-08	6.46E-10	3.19E-10	2.61E-10
1.41E-11	1.72E-11	1.74E-10	3.20E-10	5.37E-10		2.21E-08	1.32E-08	1.79E-10	8.85E-11	7.25E-11
1.41E-11	1.72E-11	1.74E-10	1.15E-09	1.93E-09		1.11E-08	6.60E-09	1.79E-10	1.77E-11	1.45E-11
8.17E-11	1.01E-10	2.14E-10	8.21E-09	1.42E-08		2.64E-09	1.52E-09	2.20E-10	2.08E-11	1.68E-11
1.63E-11	2.02E-11	2.14E-10	1.48E-09	2.56E-09		7.34E-10	4.23E-10	2.20E-10	2.08E-11	1.68E-11
1.63E-11	2.01E-11	4.26E-09	8.18E-09	1.42E-08		7.30E-10	4.21E-10	2.19E-10	1.04E-10	8.40E-11
8.15E-11	1.01E-10	4.26E-09	1.64E-08	2.83E-08		2.63E-09	1.52E-09	7.90E-10	3.74E-10	3.02E-10
3.14E-10	3.90E-10	4.66E-09	9.08E-09	1.59E-08		1.64E-08	9.35E-09	4.80E-09	2.23E-09	1.80E-09
CHARLIE						1.64E-08	9.35E-09	4.80E-09	2.23E-09	1.80E-09
3.71E-10	4.66E-10	1.04E-09	1.16E-08	2.08E-08		4.29E-08	2.39E-08	1.19E-08	5.33E-09	4.24E-09
1.03E-10	1.29E-10	2.89E-10	1.16E-08	2.08E-08		4.29E-08	2.39E-08	1.19E-08	5.33E-09	4.24E-09
1.05E-10	1.32E-10	2.97E-10	1.19E-08	2.15E-08		4.43E-08	2.46E-08	1.22E-08	5.45E-09	4.34E-09
1.05E-10	1.32E-10	2.97E-10	1.19E-08	2.15E-08		4.43E-08	2.46E-08	1.22E-08	5.45E-09	4.34E-09
3.81E-10	4.78E-10	1.07E-09	1.20E-08	2.16E-08		4.46E-08	2.47E-08	1.23E-08	5.48E-09	4.36E-09
2.11E-09	2.66E-09	5.96E-09	1.20E-08	2.16E-08		2.23E-08	1.24E-08	6.14E-09	2.74E-09	2.18E-09
2.16E-09	2.72E-09	6.11E-09	1.24E-08	2.23E-08		2.30E-08	1.27E-08	6.30E-09	2.80E-09	2.22E-09
2.16E-09	2.72E-09	1.22E-08	2.47E-08	4.46E-08		2.30E-08	2.29E-09	1.13E-09	5.03E-10	4.00E-10
2.17E-09	2.73E-09	1.23E-08	2.49E-08	4.49E-08		2.31E-08	2.30E-09	3.17E-10	1.41E-10	1.12E-10
2.17E-09	2.73E-09	1.23E-08	2.49E-08	4.49E-08		2.31E-08	2.30E-09	3.17E-10	1.41E-10	1.12E-10
2.21E-09	2.79E-09	6.30E-09	1.28E-08	2.31E-08		2.38E-08	2.37E-09	1.17E-09	1.44E-10	1.14E-10
2.21E-09	2.79E-09	1.26E-08	2.56E-08	4.62E-08		2.38E-08	1.32E-08	6.49E-09	1.44E-10	1.14E-10
2.27E-09	2.87E-09	1.30E-08	2.65E-08	4.81E-08		2.48E-08	1.37E-08	6.71E-09	5.32E-10	4.21E-10
2.27E-09	2.87E-09	1.30E-08	2.65E-08	4.81E-08		4.96E-08	2.73E-08	1.34E-08	2.95E-09	2.34E-09
2.33E-09	2.94E-09	1.34E-08	2.74E-08	4.99E-08		5.13E-08	2.82E-08	1.38E-08	3.03E-09	2.40E-09
4.19E-10	5.30E-10	6.71E-09	1.37E-08	2.49E-08		5.13E-08	2.82E-08	1.38E-08	3.03E-09	2.40E-09
DELTA						2.58E-08	1.42E-08	6.94E-09	3.04E-09	2.40E-09
4.20E-10	5.31E-10	1.21E-09	2.48E-09	4.51E-09		2.58E-08	1.42E-08	6.94E-09	6.08E-09	4.81E-09
1.22E-10	1.54E-10	3.54E-10	7.27E-10	1.33E-09		2.74E-08	1.50E-08	7.30E-09	6.35E-09	5.01E-09
1.22E-10	1.54E-10	3.54E-10	7.27E-10	1.33E-09		2.74E-08	1.50E-08	7.30E-09	6.35E-09	5.01E-09
1.23E-10	1.56E-10	3.60E-10	7.41E-10	1.35E-09		5.02E-09	2.75E-09	1.34E-09	3.22E-09	2.54E-09
2.47E-11	3.13E-11	7.21E-11	1.48E-10	2.71E-10		1.39E-09	7.63E-10	1.34E-09	5.80E-10	4.58E-10
2.56E-11	3.25E-11	7.54E-11	1.56E-10	2.85E-10		1.47E-09	8.01E-10	3.88E-10	1.68E-10	1.32E-10
2.56E-11	3.25E-11	7.54E-11	1.56E-10	2.85E-10		1.47E-09	8.01E-10	3.88E-10	1.68E-10	1.32E-10
2.56E-11	3.26E-11	7.54E-11	1.56E-10	2.86E-10		1.47E-09	8.02E-10	3.89E-10	1.68E-10	1.32E-10
1.28E-10	1.63E-10	3.77E-10	7.79E-10	1.43E-09		1.47E-09	8.02E-10	3.89E-10	1.68E-10	1.32E-10
4.62E-10	5.87E-10	1.36E-09	2.81E-09	5.15E-09		1.47E-09	8.03E-10	3.89E-10	1.68E-10	1.32E-10
2.57E-09	3.26E-09	7.56E-09	1.56E-08	2.86E-08		5.31E-09	2.89E-09	1.40E-09	6.05E-10	4.76E-10
ECHO					09	2.98E-08	1.62E-08	7.86E-09	3.39E-09	2.67E-09
2.59E-09	3.29E-09	7.63E-09	1.58E-08	2.89E-08	-	2.98E-08	1.62E-08	7.86E-09	3.39E-09	2.67E-09

Valutazione del rischio di veer-off nella strip di una pista: il colore scuro indica rischio più alto

2.4.2 Criticità e sviluppi futuri

La sicurezza all'interno degli aeroporti è studiata ormai da anni in modo sistematico, anche grazie al dettato normativo in ambito internazionale, europeo e italiano. Il SMS è ormai uno strumento con cui devono confrontarsi tutti i gestori aeroportuali, che sono tenuti a fare studi di rischio per le diverse situazioni che possono crearsi in aeroporto. Ci sono metodi sia qualitativi che quantitativi sviluppati da enti internazionali che trattano sia il veer-off che l'overrun. La ricerca S.I.I.V., secondo la disamina riportata nel paragrafo 2.4.1, si è concentrata solo sul primo tipo di incidente. In relazione alle overrun esistono metodi americani dell'ACRP¹ e dell'EASA² che non sono stati ancora approfonditi, né tanto meno confrontati nei risultati. Questo tema potrebbe essere portato all'attenzione dei ricercatori e dei laureandi come interesse futuro.

2.5 La sicurezza nelle aree limitrofe agli aeroporti

2.5.1 Il contributo alla ricerca

Le operazioni di decollo, atterraggio e movimentazione a terra degli aeromobili ricoprono una percentuale di tempo molto ridotta nella missione complessiva di un velivolo, ma in queste fasi è concentrata una percentuale elevatissima di incidenti che coinvolgono, oltre che i passeggeri e l'equipaggio del volo, un vasto territorio nell'intorno dell'aeroporto e con esso un gran numero di residenti che in alcuni casi hanno pagato un elevato tributo in termini di vite umane.

Il problema della salvaguardia delle aree limitrofe agli aeroporti è da lungo tempo oggetto di studio in diversi Paesi e, anche in Italia, con l'emanazione

¹ ACRP Report 3: Analysis of Aircraft Overruns and Undershoots for Runway Safety Areas, May 2008. Final Report EASA_REP_RESEA_2011_12
ACRP Report 50: Improved Models for Risk Assessment of Runway Safety Area, March 2011.

² Gerard W.H. van Es (NLR), Geert Moek (NLR), Job Smeltink (NLR), Hans Post (NLR), Robert Piers (Ecorys), Research Project: Study on models and methodology for safety assessment of Runway End Safety Areas (RESA), Final Report EASA_REP_RESEA_2011_12, Rotterdam, 30 July 2014

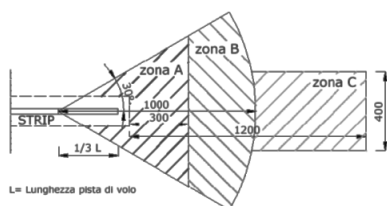
del D.L.vo 96/2005 (modificato dal D.Lgs. 151/2006) relativo alla revisione della parte aeronautica del Codice della navigazione, è stato introdotto il concetto di valutazione del rischio contro terzi. Lo scopo dell'analisi del rischio di incidente aeronautico nelle aree limitrofe agli aeroporti è la definizione di zone di sicurezza nei dintorni dei sedimi aeroportuali (*Public Safety Zones*).

Lo studio della sicurezza nelle aree limitrofe agli aeroporti è stato affrontato da varie sedi che, come primo approccio al tema, hanno analizzato i database internazionali sugli incidenti aeronautici.

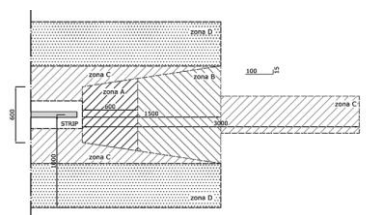
Sono stati analizzati innanzitutto statisticamente gli incidenti aerei in relazione alle caratteristiche del velivolo, alle condizioni ambientali, alla rotta e al tipo di traffico con la finalità della definizione di un modello predittivo di incidenti di facile utilizzo mediante analisi multivariata [37].

Al contempo è stata analizzata la distribuzione spaziale degli incidenti nei dintorni delle piste di volo con il duplice scopo di:

- definire l'ampiezza delle aree di sicurezza da inserire negli strumenti di pianificazione del territorio, in particolare nei piani di rischio dei Comuni interessati dalla presenza di aeroporti con un numero di movimenti annui inferiore a 50.000 [38];



piste di volo di codice 1 e 2



piste di volo di codice 3 e 4

Aree di sicurezza nei piani di rischio relativi ad aeroporti con movimenti annui < 50.000

- definire un metodo per la valutazione del rischio corso dagli occupanti il territorio limitrofo agli aeroporti con un traffico superiore a 50.000 movimenti/anno [39, 40].



Esempio di Public Safety Zones in testata pista

Successivamente è stato studiato anche un metodo per applicare il modello di analisi del rischio riportato in [39, 40] alla definizione delle aree di sicurezza dei piani di rischio per gli aeroporti medio-piccoli [41].

Esistono diversi modelli quantitativi di valutazione del rischio, descritti in un articolo di revisione della letteratura scientifica [42], che presentano differenze significative nelle loro metodologie e applicazioni. Questo articolo fornisce una panoramica completa dei metodi di analisi del rischio per le aree circostanti gli aeroporti e presenta un confronto quantitativo tra due approcci specifici, i metodi ENAC/Sapienza e ACRP (Airport Cooperative Research Program).

La sicurezza nelle aree limitrofe agli aeroporti è stata studiata da un altro punto di vista nell'articolo [43], quantificando il rischio di collisione tra aeromobili e ostacoli nello spazio aereo, in funzione del tipo di ostacolo e di superficie di limitazione ostacoli interessata. I valori di rischio e i fattori di amplificazione proposti derivano da interviste con i tecnici.

Oltre all'approccio di analisi statistica degli incidenti, lo studio della dinamica del singolo incidente aereo è la metodologia raccomandata e seguita da tutti coloro che si occupano di sicurezza aerea con lo scopo di ridurre la probabilità di un evento fatale. L'articolo [44] analizza il caso dell'incidente aereo del volo TUI 1153 da Bari a Djerba, avvenuto nel 2005 nei pressi dell'aeroporto di Palermo Punta Raisi. L'aereo ATR 72-202 subì l'arresto simultaneo di entrambi i motori circa un'ora dopo il decollo, a causa di un errore tecnico nella sostituzione dell'indicatore di quantità di carburante (FQI), che mostrava il carburante come abbondante, mentre in realtà era quasi esaurito. Utilizzando un approccio basato sul modello di Reason per lo studio degli errori umani e

una simulazione del volo in laboratorio, sono stati individuati i fattori che hanno portato all'incidente con lo scopo di proporre soluzioni per evitare futuri eventi simili. Questo studio ha dimostrato come una corretta formazione e l'adozione di procedure adeguate, unite a un sistema efficace di gestione della sicurezza, possano fare la differenza tra un incidente fatale e un atterraggio di emergenza gestito con successo.

2.5.2 Criticità e sviluppi futuri

L'analisi del rischio nelle aree limitrofe agli aeroporti viene studiata mediante l'applicazione di modelli di previsione della probabilità di incidente e di localizzazione dell'incidente sul territorio nei dintorni della pista di volo. Entrambi i modelli sono sviluppati mediante l'analisi statistica di dati raccolti in database internazionali, secondo due approcci differenti che potremmo definire uno europeo e l'altro americano. La vera differenza fra i due metodi è nel tipo di dati che vengono presi in considerazione: in quello europeo vengono analizzati solo dati storici e le coordinate del punto di caduta dell'aereo; in quello americano, invece, vengono analizzati anche i dati meteo e operativi dell'aeroporto, che sono stati riconosciuti influenti sull'accadimento dell'incidente.

Il primo metodo produce, quindi, curve che sono più sensibili all'obsolescenza dei dati, in quanto le curve statistiche di probabilità di incidente non tengono conto delle variazioni delle condizioni operative degli aeroporti e della tecnologia degli aeromobili, e pertanto richiedono un aggiornamento continuo che non segue sempre la velocità di dette variazioni. Questa è anche la criticità del metodo adottato in Italia. Una prospettiva di ricerca futura è l'adeguamento delle curve statistiche ai dati aggiornati del database incidentale che è disponibile presso ENAC (fatto salvo il nulla-osta dell'ENAC al suo utilizzo). L'adeguamento potrebbe seguire sia l'approccio attuale, ma anche l'approccio americano, cambiando completamente le curve statistiche utilizzate dal modello e considerando tutti i dati di caratterizzazione dell'aeroporto e del territorio. In questo senso potrebbe essere sviluppata ed aggiornata l'analisi multivariata già studiata in [37].

Altra criticità dei modelli attualmente utilizzati, sia europei che americani, è la limitazione della definizione delle aree di sicurezza solo in testata della pista

di volo. La definizione delle aree di sicurezza nelle aree laterali viene tralasciata perché la probabilità di accadimento dell'incidente è sicuramente più bassa che non nelle zone oltre le testate. Però, visto che nei piani di rischio vengono poi incluse anche le aree laterali alla pista, potrebbe essere indagata l'opportunità di considerare delle curve di isorischio continue tutto intorno alla pista di volo, in analogia a quelle di isorumore.

Infine, un argomento che ancora offre ampio spazio di indagine è la quantificazione del rischio di collisione tra aeromobili e ostacoli nello spazio aereo, per la quale dovrebbe essere approfondita l'analisi degli incidenti occorsi nel tempo.

2.6 Nuove tecnologie per il design degli aeroporti: I-BIM

2.6.1 Il contributo alla ricerca

Il Building Information Modeling (BIM) sta rivoluzionando il design degli aeroporti, e l'I-BIM (Infrastructure BIM) rappresenta la sua applicazione specifica per le infrastrutture.

I processi di BIM in ambito aeroportuale fanno riferimento alla costruzione di un sistema informativo digitale dell'opera che, basandosi sul modello dettagliato 3D di piste, terminal e strutture circostanti dell'aeroporto, lo integra con dati fisici, prestazionali e funzionali, costituendo uno strumento di innovazione tecnologica per la gestione dell'intero ciclo di vita dell'infrastruttura aeroportuale, dalla progettazione alla realizzazione, per estendersi fino alle attività di gestione, manutenzione e riqualificazione. Tutti i dati relativi al progetto, dalla progettazione alla manutenzione, sono infatti gestiti in un'unica piattaforma, migliorando l'efficienza e la trasparenza, facilitando la collaborazione tra i diversi gruppi di progettazione (ingegneri, architetti, impiantisti, ecc.) e riducendo così il rischio di errori e disallineamenti. Grazie alla simulazione e alla gestione integrata dei dati, l'I-BIM può inoltre essere di supporto per ottenere progetti più efficienti dal punto di vista energetico e caratterizzati da una migliore gestione delle risorse. Lo studio del BIM in ambito aeroportuale è stato affrontato principalmente da due sedi S.I.I.V. che hanno trattato sia gli aspetti legati alla progettazione e

alla manutenzione, che l'integrazione con altri strumenti digitali quali il Geographic Information System (GIS). Tali attività di ricerca, precedenti all'emanazione del D.Lgs. 36/2023 che all'articolo 43 sancisce l'obbligo di adozione del BIM negli appalti pubblici e all'emissione delle prime Linee Guida BIM da parte di ENAC (ENAC, Linee Guida per la digitalizzazione BIM dell'infrastruttura aeroportuale, LG 2023-003-APT Ed.1), pongono le basi per il rafforzamento della cultura digitale in ambito aeroportuale.

La metodologia I-BIM è stata applicata per la progettazione architettonica e strutturale di un ponte pedonale, funzionale all'espansione del terminal partenze dell'Aeroporto internazionale di Capodichino [45], permettendo di evidenziare una maggiore produttività rispetto all'utilizzo di una tradizionale progettazione effettuata con strumenti CAD. Ciò è stato realizzato anche grazie alla possibilità di individuare le interferenze tra elementi strutturali già in fase di progettazione, riducendo la possibilità di varianti in corso d'opera che comportano ritardi sul cronoprogramma dei lavori.

Sempre a livello di progettazione, è stato realizzato un modello parametrico di dettaglio I-BIM della pista di volo dell'Aeroporto di Lamezia Terme, integrando nel modello i rilievi stratigrafici della pavimentazione aeroportuale effettuati attraverso il GPR, la serie storica di rilievi del Grip Number e i dati storici relativi alle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria della pavimentazione [46], dimostrando come l'integrazione tra dati di natura diversa permetta l'ottimizzazione del processo di conoscenza delle caratteristiche dell'infrastruttura.

In relazione agli aspetti legati alla manutenzione, è stato sviluppato un modello per la gestione interoperabile dei dati di manutenzione secondo il formato di dati Industry Foundation Classes (IFC), conforme al framework OpenBIM. Tale sistema rappresenta un utile strumento di archiviazione dei dati di supporto alla redazione di Airport Pavement Management System (APMS), in cui ciascuna sezione della pista contiene informazioni sullo stato e sulle specifiche necessità di manutenzione dell'asset [47].

In [48] gli Autori hanno esplorato l'applicazione di metodologie BIM e digital twin per la gestione unificata delle aree lato terra e lato aria di una infrastruttura aeroportuale. L'integrazione di modelli digitali e dati da indagini

multi-sorgente si configura come un passo importante verso una gestione più coesa, trasparente ed efficiente delle infrastrutture.

I processi di I-BIM possono essere di supporto non solo alla progettazione e alla manutenzione delle piste aeroportuali, ma, attraverso una corretta integrazione con gli strumenti GIS, hanno la potenzialità di supportare efficacemente la gestione dell'interazione tra governance territoriale e sicurezza nelle aree limitrofe agli aeroporti attraverso un'efficiente metodologia di archiviazione e scambio dati tra gli stakeholders coinvolti, a vario titolo, nella definizione delle Obstacle Free Zone (OFZ) [49].

Per dimostrare i benefici associati all'integrazione di strumenti digitali quali BIM e GIS in ambito aeroportuale, è stato implementato un caso studio di modellazione parametrica e informativa di un'area aeroportuale, inclusi gli ostacoli presenti nell'ambiente circostante e le relative superfici OFZ. Sono quindi state evidenziate le potenzialità e i vantaggi di tale integrazione nel caso in cui si dovessero effettuare cambiamenti al layout della pista oppure procedere alla progettazione di un nuovo terminal [50].

2.6.2 Criticità e sviluppi futuri

Una delle maggiori criticità legate all'implementazione del processo BIM da parte degli Enti Gestori di un aeroporto riguarda, allo stato attuale, il rilievo dell'esistente e la sua restituzione digitale per la pianificazione e la successiva progettazione di eventuali interventi tramite tecnologia BIM. La maggior parte degli interventi che vengono eseguiti in un'infrastruttura aeroportuale riguarda infatti opere già esistenti, per le quali risulterà quindi necessario costruire preliminarmente un modello BIM dello stato di fatto, che includa non soltanto la geometria delle opere ma anche le informazioni ad esse associate.

Una seconda criticità può riguardare l'integrazione dei software gestionali attualmente utilizzati dagli Enti Gestori con l'ambiente BIM. In tal caso, per permettere ai due sistemi di dialogare e integrarsi, sarà necessario progettare metodi personalizzati attraverso i quali potrà avvenire lo scambio di informazioni tra i due ambienti: il sistema di facility management e il database rappresentato dal modello BIM.

Un tema che invece offre ampio margine di ricerca in ambito aeroportuale riguarda l'integrazione tra il sistema BIM e il GIS, come strumenti innovativi per l'ottimizzazione della progettazione e della manutenzione. Essi permettono infatti una visione completa e integrata dell'intera infrastruttura, unendo le capacità di analisi spaziale del GIS con i dettagli costruttivi e informativi forniti dal BIM, contribuendo a migliorare l'efficienza operativa e la sicurezza aeroportuale.

2.7 Monitoraggio degli aeroporti tramite sensoristica

2.7.1 Il contributo alla ricerca

Le ricerche recenti hanno mostrato un progressivo avanzamento nell'utilizzo di tecniche non distruttive e di telerilevamento per la valutazione e la gestione delle infrastrutture aeroportuali. Il tema del monitoraggio risulta prettamente trattato da un punto di vista scientifico da un numero limitato di sedi S.I.I.V. Un primo filone di studi riguarda l'uso combinato di indagini geofisiche e prove tradizionali. Gli Autori della pubblicazione [51] hanno dimostrato l'efficacia dell'integrazione tra GPR, Heavy Weight Deflectometer (HWD) e prove intrusive per l'ottimizzazione della manutenzione della pista dell'aeroporto di Ancona, evidenziando come tali approcci permettano di individuare aree omogenee e calibrare gli interventi manutentivi in maniera più efficiente. Sulla stessa infrastruttura, altri Autori [52] hanno approfondito la valutazione della capacità portante della nuova pavimentazione, combinando prove in situ e di laboratorio per verificare le prestazioni dei materiali e la risposta strutturale, sottolineando i vantaggi derivanti dall'impiego di leganti modificati.

Parallelamente, negli ultimi anni si è affermato l'utilizzo dell'interferometria radar satellitare per il monitoraggio delle deformazioni superficiali. Gli autori dell'articolo [53] hanno applicato la tecnica Persistent Scatterers Interferometry (PSI) alla pista di Fiumicino, dimostrandone la validità come strumento non invasivo e accurato, con buona coerenza rispetto ai rilievi tradizionali. In seguito, in [54], gli Autori hanno verificato la possibilità di utilizzare i dati Sentinel-1, a media risoluzione, per il monitoraggio di

subsidenze millimetriche, evidenziandone un'elevata correlazione con i dati da COSMO-SkyMed e con le misure topografiche. Lo stesso gruppo di ricerca [55] ha inoltre proposto un approccio integrato basato sull'uso congiunto di dati SAR multi-frequenza, confermando che la combinazione tra immagini a media e alta risoluzione costituisce una strategia efficace e scalabile per la gestione infrastrutturale.

Questa prospettiva è stata ulteriormente sviluppata in [56], dove sono stati discussi i vantaggi e le sfide dell'integrazione tra tecniche di telerilevamento satellitare e metodi di prova non distruttivi, evidenziando da un punto di vista geo-statistico il potenziale di approcci ibridi nel migliorare la sicurezza e ridurre i costi di manutenzione delle reti infrastrutturali.

Un ulteriore filone di ricerca emergente riguarda l'applicazione di tecniche di intelligenza artificiale al monitoraggio e alla valutazione delle pavimentazioni aeroportuali. In questo contesto, diversi studi hanno dimostrato come l'apprendimento automatico possa costituire uno strumento efficace per migliorare l'interpretazione dei dati sperimentali e la previsione del comportamento strutturale.

Un primo contributo è rappresentato da [57], in cui viene mostrato come i dati ottenuti da prove con HWD possano essere analizzati tramite algoritmi di machine learning per stimare i moduli elastici degli strati in conglomerato bituminoso. Questo approccio consente di superare alcune limitazioni dei metodi convenzionali basati su modelli deterministici, migliorando la capacità predittiva e riducendo i tempi di valutazione. L'evoluzione di questa linea di ricerca è testimoniata dal lavoro pubblicato in [58], che introduce tecniche di *data augmentation* per arricchire i dataset derivanti da prove non distruttive. Tale strategia permette di aumentare l'affidabilità dei modelli predittivi anche in condizioni di disponibilità limitata di dati sperimentali, tipica dei contesti aeroportuali. Gli Autori di cui sopra propongono in [59] l'impiego di reti neurali artificiali applicate ai dati di deflessione superficiale interpolati. Questo approccio consente di catturare la natura non lineare della risposta delle pavimentazioni, fornendo stime più robuste e flessibili dei moduli degli strati rispetto ai modelli tradizionali.

Nel loro insieme, questi studi mettono in evidenza il potenziale delle tecniche di machine learning e deep learning nel campo dell'ingegneria aeroportuale,

offrendo strumenti innovativi per l'analisi e la gestione predittiva delle infrastrutture.

2.7.2 Criticità e sviluppi futuri

L'impiego di tecniche innovative per il monitoraggio delle infrastrutture aeroportuali, quali radar, sensori e prove non distruttive, rappresenta un ambito di ricerca di grande interesse che richiede un crescente impegno da parte della comunità scientifica. Tra i requisiti fondamentali di una pavimentazione aeroportuale figura l'elevata regolarità e aderenza superficiale, caratteristiche che il gestore è tenuto a monitorare costantemente. Attualmente, tali controlli avvengono principalmente mediante metodi tradizionali (es. profilometri, grip test), che comportano un significativo impiego di risorse e tempi operativi. L'evoluzione verso sistemi di monitoraggio più avanzati, come l'interferometria radar satellitare abbinata all'intelligenza artificiale per l'analisi dei dati, potrebbe offrire scenari innovativi. Queste tecnologie consentirebbero un monitoraggio continuo e automatizzato dello stato dell'infrastruttura, fornendo al gestore aeroportuale informazioni sempre aggiornate, utili anche per dimostrare in modo oggettivo e documentato la conformità ai requisiti normativi. Risulta pertanto fondamentale proseguire l'attività di ricerca su queste tematiche, con l'obiettivo di rendere il sistema manutentivo aeroportuale sempre più innovativo, efficiente e rispondente alle esigenze operative.

In ogni caso l'evoluzione delle nuove tecnologie, integrate con quelle maggiormente collaudate, si preannuncia come promettente per sviluppi di ricerca finalizzati ad applicazioni nel monitoraggio delle infrastrutture.

2.8 Le sovrastrutture

La ricerca nel campo delle pavimentazioni aeroportuali delle sedi S.I.I.V. può essere inquadrata in 4 temi:

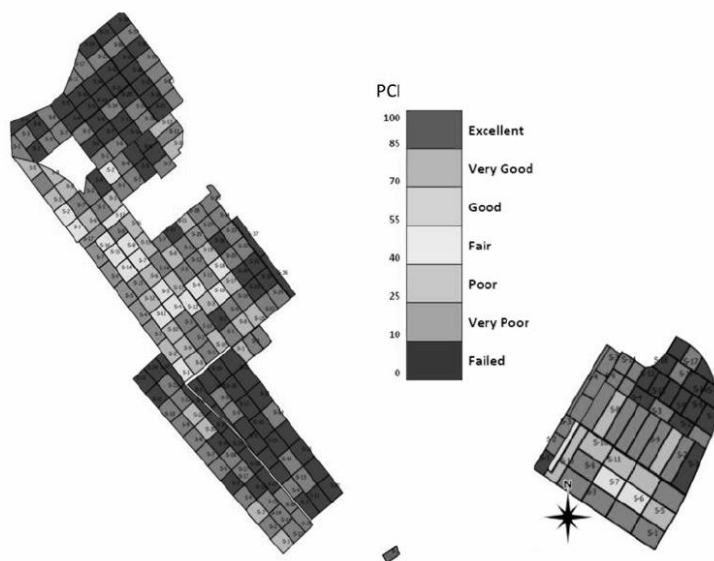
1. Manutenzione
2. Materiali
3. Dimensionamento

4. Eliporti

2.8.1 Manutenzione

L'APMS è un approccio metodologico finalizzato al monitoraggio delle condizioni del patrimonio pavimentato all'interno del sedime aeroportuale, permettendo di determinare le priorità di intervento, pianificare e allocare le risorse. In [60], l'APMS è integrato con i risultati di prove non distruttive per la valutazione della capacità portante delle pavimentazioni aeroportuali, agli albori della loro diffusione negli aeroporti sia civili che militari. Gli studi continuano in anni più recenti [61, 62] con gli esempi di due aeroporti italiani entrambi mono-pista con una via di rullaggio parallela e varie vie di rullaggio di uscita. Per entrambi gli aeroporti sono state raccolte e integrate misure di capacità portante, regolarità, aderenza e degrado della pavimentazione per identificare i necessari interventi di manutenzione e ripristino. I due esempi hanno evidenziato che l'APMS richiede molteplici analisi complete e appropriate per considerare i diversi indici e gestire correttamente le pavimentazioni esistenti.

Di APMS si parla anche in [63], con riferimento specifico alla rilevanza delle scelte decisionali. L'APMS consente infatti di ottimizzare la strategia manutentiva che permette poi di mantenere in efficienza un'infrastruttura. Lo studio analizza i fattori coinvolti nei processi di ottimizzazione, investigando come essi influenzano le soluzioni. Vengono allo scopo utilizzati algoritmi di K-clustering ed euristici connessi con le scelte delle attività di manutenzione, minimizzando i costi operativi fissi, con ciò riuscendo ad investigare scenari alternativi in termini di qualità della pavimentazione e durata delle attività. La ricerca dimostra che non esiste un'unica strategia ottimale, ma diverse soluzioni che possono essere scelte in base alle necessità. Tuttavia, la comparazione dei risultati dell'indagine può essere utilizzata per una migliore pianificazione e gestione delle infrastrutture di volo.



Applicazione del modello statistico per il calcolo degli stress nelle pavimentazioni rigide in diverse condizioni di carico, spessori della pavimentazione e portanza del sottofondo [25]

In [64] vengono affinati i precedenti ragionamenti ricorrendo a 5 nuovi algoritmi euristici che replicano altrettante strategie gestionali adottabili per ridurre i costi di manutenzione delle pavimentazioni, considerandone l'impatto sui livelli di servizio dell'aeroporto. Ogni algoritmo lavora in modo da raggiungere due obiettivi, ossia la scelta delle porzioni di pavimentazione da sottoporre a manutenzione e l'utilizzo di un K-clustering basato su tre indicatori prestazionali (vita residua, IRI, PCI). L'approccio è applicato su alcune infrastrutture aeroportuali aperte al traffico internazionale. I risultati confermano che nessuna strategia è la migliore in termini di costi e condizioni qualitative delle pavimentazioni. Tuttavia, gli esiti dello studio si prestano a costituire, mediante comparazione, le basi per scelte gestionali motivate.

Le caratteristiche superficiali delle pavimentazioni aeroportuali sono di fondamentale importanza per assicurare la sicurezza degli aeromobili nelle fasi di decollo e atterraggio. Le fasi di monitoraggio e raccolta dei dati di aderenza sono parte integrante di un APMS, strumento attraverso il quale gli

operatori del settore pianificano le operazioni di manutenzione, individuano le attività prioritarie e allocano le risorse. Gli APMS sono integrati con modelli analitici di previsione del degrado dell'aderenza in funzione del numero previsto di applicazioni di carico nel corso della vita utile; l'utilizzo di tecniche di regressione statistica e reti neurali per la calibrazione di modelli avanzati di previsione del degrado dell'aderenza è da tempo oggetto di ricerca. Gli Autori della memoria [65] hanno calibrato un modello di degrado non lineare del valore di Grip Number (GN) specifico per l'Aeroporto di Lamezia Terme basandosi su un'ampia banca dati relativa a uno storico di 9 anni di rilievi di GN e traffico aereo per incrementare l'affidabilità dell'APMS. Gli stessi autori [66, 67] hanno elaborato modelli di degrado del GN, funzione della tipologia di carichi degli aeromobili e del tempo trascorso dall'ultima attività di sgommatura della pavimentazione, individuando una differenza significativa tra il tasso di degrado dell'aderenza superficiale della pavimentazione precedente e successivo alle operazioni di sgommatura, migliorando così la capacità previsionale e la programmazione dei futuri interventi di manutenzione.

Con l'obiettivo di prevedere non solo la collocazione temporale, ma anche spaziale degli interventi manutentivi, nel lavoro [68] gli Autori hanno focalizzato l'attenzione sulla distribuzione dei carichi applicati dagli aeromobili durante l'atterraggio lungo lo sviluppo longitudinale della pista; i parametri del modello di regressione ai minimi quadrati sono stati calibrati sulla base di un ampio database di rilievi di GN e dati relativi al traffico aereo, costituendo un utile supporto all'individuazione delle aree maggiormente soggette al degrado dell'aderenza superficiale.

La distribuzione spaziale e temporale del degrado dell'aderenza superficiale è oggetto anche della memoria [69], in cui vengono applicati algoritmi di clustering per individuare le diverse aree di consumo della pista e alberi di classificazione e regressione per aggregare i punti della pista in nodi, associando ad essi specifici modelli non lineari di decadimento dell'aderenza. In [66], gli Autori hanno calibrato modelli di decadimento del valore di GN in grado di prevedere la localizzazione e la relativa intensità del danno in funzione della distribuzione delle traiettorie di atterraggio degli aeromobili.

In relazione all'utilizzo di reti neurali, l'articolo [71] investiga l'applicabilità di sistemi neuro-fuzzy (ANFIS, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) per la previsione del decadimento dell'aderenza superficiale (GN), comparandone l'efficienza con quella dei modelli empirico-meccanicistici. La performance del modello di rete neurale, calibrato attraverso i rilievi dell'aderenza e i carichi da traffico aereo, permette di prevedere correttamente il GN senza bisogno di misurazioni effettuate tramite rilievi sul campo, basandosi sulla sola conoscenza del valore di GN misurato a seguito dell'ultima attività di manutenzione e dei carichi di traffico.

L'impiego delle tecniche di valutazione non distruttiva delle performance delle pavimentazioni risulta, per motivi connessi principalmente all'elevata produttività delle misure nonché del limitato impatto sull'operatività delle infrastrutture, strategico per una efficace implementazione degli APMS. In questo contesto, diversi contributi di ricerca sono stati nel tempo proposti dai soci membri di diverse sedi. In [72] si illustra un approccio ciclico alla gestione delle pavimentazioni aeroportuali, basato sull'impiego sistematico di prove non distruttive di deflessione. Gli autori descrivono l'esperienza maturata in un aeroporto italiano, dove è stato implementato un sistema di gestione delle pavimentazioni (APMS) fondato sui principi del ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), tipico del controllo qualità e del miglioramento continuo. L'analisi si è basata sui risultati di quattro campagne di misurazioni con strumenti di deflessione, condotte nell'arco di dieci anni. Tali dati sono stati analizzati in modo integrato per osservare l'evoluzione strutturale della pista e per verificare l'efficacia delle strategie di manutenzione adottate.

La memoria [73] propone un'indagine approfondita sui nessi causali che caratterizzano il legame tra tessitura della pavimentazione, livello di servizio e sicurezza del trasporto aereo finalizzata all'ottimizzazione delle strategie manutentive e, in senso più ampio, alla sequenza progettazione-esecuzione-manutenzione. La dettagliata trattazione teorica conduce all'elaborazione di un algoritmo di gestione intelligente delle attività manutentive della sovrastruttura; l'algoritmo, strutturato e testato su un sistema fuzzy e successivamente applicato a un campione più ampio, è basato sulla definizione di alcune variabili primarie, tra le quali il rapporto costi-budget, un indicatore di importanza dell'aeroporto, indicatori di aderenza e tessitura

della pavimentazione, indicatori globali dello stato della pavimentazione, come il Pavement Condition Index, e indicatori relativi alla presenza di neve, ghiaccio o detriti sulla pista.

Nel campo delle pavimentazioni rigide, gli Autori della memoria [74] hanno trattato il tema della gestione dell'asset sovrastrutturale costituito dai piazzali aeroportuali che, per posizione e funzionalità, rappresentano una vera e propria interfaccia tra il lato-terra e il lato-aria. L'articolo propone un sistema integrato di gestione digitale delle pavimentazioni aeroportuali, combinando l'integrazione BIM con indagini non distruttive e dati provenienti da sensori. Questo approccio innovativo mira a superare le attuali lacune informative tra le aree lato-terra e lato-aria, consentendo una gestione olistica e più efficiente. Facendo riferimento alla manutenzione e riqualificazione delle pavimentazioni rigide dei piazzali aeroportuali dell'aeroporto Civile di Bari, gli Autori del lavoro [75] hanno sottolineato come la crescita della domanda di trasporto aereo implichi la necessità di ammodernare ed ampliare il sedime aeroportuale con particolare riferimento ai piazzali e alle loro pavimentazioni. Ciò pone il problema di come intervenire per ripristinare tali pavimentazioni in modo contemporaneamente efficiente ed economico, tenendo conto anche della minore importanza che esse rivestono nell'ambito aeroportuale. La ricerca si incentra pertanto sullo studio di un particolare metodo di riparazione locale delle pavimentazioni, che prevede l'uso di un doppio strato di calcestruzzo rinforzato sia con le tradizionali fibre metalliche che con microfibre plastiche. Dall'analisi comparativa costi/efficienza con altre tecniche tradizionali di riparazione, la metodologia proposta è risultata essere la più idonea per la particolare situazione dell'aeroporto di Bari. Essa è stata applicata con successo per la esecuzione di alcune riparazioni campione ed attualmente l'intera area del piazzale di sosta è stata sottoposta ad interventi manutentivi di questo tipo.

La ricerca [76] si incentra su una valutazione delle sezioni del piazzale in calcestruzzo dell'Aeroporto Civile di Bari e dei relativi problemi strutturali come crepe e sfaldamenti superficiali e profondi in corrispondenza dei giunti. Attraverso uno step di censimento sono stati raccolti dati di traffico attuali e previsti e confrontati con la capacità portante della pavimentazione, nonché con le tipologie e localizzazioni dei degradi. Sulla base dei risultati delle

indagini di campo è stata studiata l'efficacia degli attuali metodi di riparazione e sono stati sviluppati metodi di riparazione originali sia per solette sfaldate che fessurate. Tali metodi prevedono la ricostruzione parziale delle solette con un doppio strato di nuovo calcestruzzo fibrorinforzato. Sono state effettuate alcune riparazioni di prova. Dopo un anno non sono stati evidenziati problemi strutturali. Pertanto, sono state effettuate riparazioni sul piazzale principale dell'Aeroporto Civile di Bari utilizzando questi metodi di costruzione.

Considerando il medesimo sedime aeroportuale, la ricerca [77] analizza la metodica di intervento atta al ripristino delle pavimentazioni dei vecchi piazzali di sosta considerando aspetti di efficienza ed economicità e tenendo conto anche della minore importanza che esse rivestono nell'ambito aeroportuale. Particolare attenzione è stata posta alla definizione di un metodo di riparazione locale delle pavimentazioni, che prevede l'uso di un doppio strato di cemento rinforzato sia con le tradizionali fibre metalliche che con microfibra plastiche. Dall'analisi comparativa costi/efficienza con altre tecniche tradizionali di riparazione, la metodologia proposta è risultata essere la più idonea per la particolare situazione dell'aeroporto di Bari. Essa è stata applicata con successo per la esecuzione di alcune riparazioni campione e successivamente adottata come soluzione manutentiva dell'intera area del piazzale di sosta.

La memoria [78] descrive invece un APMS in fase di implementazione. Si tratta di un caso-studio applicato ad un aeroporto del Sud Italia, il quale evidenzia le criticità correlate con la mancanza o insufficienza di dati e informazioni. Conseguentemente si è studiata l'importanza di potenziare le informazioni su traffico e meteo come anche sui costi collaterali.

Sempre con riferimento alla gestione delle pavimentazioni aeroportuali, nel lavoro [79] viene presentato un piano per l'installazione di un sistema composto di termometri, estensimetri e celle di pressione per il monitoraggio delle tensioni termiche e meccaniche nella pavimentazione di una pista di volo.

2.8.2 *Materiali*

Tra i maggiori temi di ricerca che coinvolgono i materiali ad uso aeroportuale vi sono lo sviluppo e l'analisi di soluzioni aventi elevate prestazioni

meccaniche e vita utile, che siano di veloce applicazione e dal limitato impatto ambientale ed economico. L'articolo [80] pone l'attenzione sulla riparazione rapida delle pavimentazioni delle piste di volo, sperimentando in laboratorio e in sito le prestazioni tecniche e meccaniche di 12 diversi materiali (2 emulsioni bituminose, 5 malte cementizie, 4 miscele bituminose a freddo e 1 resina espandente) attualmente utilizzati in aeroporto. Una malta cementizia monocomponente a presa e indurimento rapidi con aggregati selezionati è risultata essere il materiale più idoneo, consentendo la riapertura della pista 6 ore dopo i lavori e garantendo una adeguata resistenza a fatica (10.000 coperture). I risultati ottenuti potrebbero essere utilizzati dagli enti di gestione aeroportuale e dalle agenzie stradali per la programmazione e la valutazione degli interventi di riparazione della pavimentazione.

In [81], gli Autori sviluppano un conglomerato bituminoso poroso intasato da una miscela cementizia espansiva applicato in due pavimentazioni (una di una via di rullaggio e l'altra per la superficie eliportuale) da realizzare in un aeroporto italiano, sottoposte a carichi di traffico molto diversi. Per ciascuna superficie, sono stati confrontati i costi di costruzione e manutenzione con quelli di una pavimentazione flessibile tradizionale. Le due soluzioni hanno un costo paragonabile per la via di rullaggio, mentre per la superficie eliportuale il costo della pavimentazione tradizionale è molto inferiore. Ciò vuol dire che l'opportunità economica delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso poroso intasato da una miscela cementizia espansiva dipende fortemente dai carichi di traffico.

La memoria [82] contiene uno studio comparativo volto ad analizzare le prestazioni meccaniche di diverse miscele bituminose da destinare a strati di usura, collegamento e base di pavimentazioni aeroportuali (SMA, conglomerati porosi, alto modulo, antiskid, tradizionali), nell'ipotesi di adoperare scoria di acciaieria di due tipologie e distinte pezzature, quale sostituto di inerte naturale per minimizzare l'impatto ambientale delle soluzioni. Prove usuali (Marshall) e avanzate (modulo dinamico, creep), evidenziano le prestazioni superiori delle miscele con scorie, sottolineando l'importanza di un corretto dosaggio dell'inerte marginale.

In [83] viene trattata la resistenza alle deformazioni permanenti di miscele bituminose "ad alte prestazioni" per strati di collegamento di pavimentazioni

stradali ed aeroportuali. Vengono poste a confronto 6 diverse tipologie di conglomerati, confezionati con bitume normale semisolido o modificato con SBS, e con utilizzo di inerte naturale, scoria di acciaieria (EAF), ceneri da RSU, scorie vetrose e cenere di carbone. I singoli componenti e le miscele sono sottoposti ad una estensiva caratterizzazione fisico-meccanica e tossicologica. La resistenza all'ormaiamento, valutata mediante tre distinte procedure, evidenzia la capacità dell'inerte artificiale, opportunamente dosato, di sopperire a carenze reologiche del legante anche in impieghi provanti come quello previsto in infrastrutture aeroportuali soggette a carichi lenti, canalizzati ed elevati.

L'effetto delle modifiche a base polimerica dei bitumi per l'impiego aeroportuale è stato ampiamente trattato dai ricercatori S.I.I.V. Gli Autori degli articoli [84, 85] hanno infatti studiato le potenzialità di leganti modificati, anche tramite l'impiego di materiali polimerici, al fine di garantire una maggiore resistenza e durabilità delle sovrastrutture flessibili nei riguardi dell'attacco chimico dovuto alla loro esposizione a fuoriuscite di cherosene, condizione frequente soprattutto nelle aree dedicate alla manutenzione o di rifornimento all'interno del sedime aeroportuale. Al netto del riscontro positivo in termini di interazione miscela polimerica-cherosene, i risultati degli studi mostrano che la resistenza ai combustibili è strettamente correlata alla densità del reticolo polimerico formato nel bitume e alla natura polare/apolare dei componenti del legante. Le proprietà fisiche e chimiche del bitume, come la natura della sua composizione, sono fondamentali per la resistenza ai combustibili.

Gli Autori dei lavori [86, 87] trattano il tema della progettazione delle miscele bituminose da impiegarsi nella realizzazione di pavimentazioni adibite a trattamenti antighiaccio (*de-icing*). Negli studi viene analizzato, tramite vari test di laboratorio, l'impatto potenzialmente dannoso dei prodotti chimici antighiaccio sulle miscele bituminose utilizzate nelle pavimentazioni aeroportuali, con particolare attenzione ai fenomeni di disgregazione e stripping. Gli studi evidenziano l'importanza di considerare già a livello progettuale l'interazione tra antighiaccio e materiali bituminosi nella fase progettuale e manutentiva delle piste aeroportuali.

Altre ricerche hanno affrontato il tema dell'efficacia di nuovi materiali leggeri e facilmente comprimibili per letti di arresto di aeromobili, sistemi cruciali per gli aeroporti con aree di sicurezza insufficienti. In questi casi, il letto deve riuscire a rallentare e fermare l'aereo sfruttando la resistenza esercitata sui carrelli. L'indagine sperimentale condotta in [88] si è concentrata su quattro materiali innovativi a bassa densità e bassa resistenza alla compressione, tra cui malta cellulare, malta cellulare con polistirolo espanso, argilla espansa con bitume e argilla espansa con legante cementizio. Sono stati eseguiti test quasi-statici per identificare i limiti di deformazione e test d'impatto per misurare la capacità di assorbimento dell'energia durante il collasso sotto il peso del carrello. In [89], invece, è stata studiata una malta cellulare contenente sfere di polistirene espanso, selezionata per la sua capacità di collassare sotto carico dissipando energia. Lo studio ha previsto una serie di test statici e dinamici per caratterizzare il comportamento meccanico del materiale, nonché valutazioni sulla durabilità in ambienti reali. Sulla base delle proprietà rilevate, è stata condotta una simulazione per stimare le distanze di arresto in scenari realistici utilizzando il modello dell'FAA come riferimento. I risultati hanno confermato la validità della soluzione proposta, che si è dimostrata capace di garantire buone prestazioni sia in termini di arresto dell'aereo che di resistenza agli agenti atmosferici.

Con riferimento alle pavimentazioni rigide, gli Autori dell'articolo [90] hanno valutato l'impiego di un metodo probabilistico basato sul software HIPERPAV per valutare il rischio di fessurazione precoce (*early cracking*) già al livello di progettazione delle pavimentazioni rigide in ambito aeroportuale. Lo studio fornisce tra i risultati una "carta del rischio" in grado di correlare il rapporto resistenza-sollecitazione con il livello di affidabilità richiesto dalla progettazione, fornendo così valori critici di soglia del rapporto stesso.

In [91] viene presentato uno studio basato su una larga campagna di monitoraggio non distruttivo occorsa su un piazzale aeroportuale all'interno dell'aeroporto di Roma Fiumicino, al fine di valutare la riduzione delle prestazioni meccaniche di una sovrastruttura rigida sottoposta ad un carico superiore a quello di progetto, in questo caso un Airbus A380.

In [92] è analizzato il comportamento termo-meccanico delle pavimentazioni aeroportuali. Vengono posti a confronto schemi di calcolo e soluzioni costruttive monostrato e pluristrato, analizzando mediante modello (implicito ed esplicito) la propagazione del calore con la profondità e investigando la risposta di una sovrastruttura di taxiway all'irraggiamento solare, con la finalità di poter stimare la risposta meccanica della pavimentazione (termosensibile) e la sua durabilità.

Più specifico è il tema della valutazione della risposta delle pavimentazioni rigide soggette ai carichi estremi applicati dagli aeromobili di nuova generazione; lo studio [93] affronta il caso del caccia F-35B Joint Strike Fighter, che ha la capacità di decollare e atterrare verticalmente (STOVL - Short Take-Off/Vertical Landing). L'articolo presenta un'analisi degli effetti termomeccanici indotti dagli scarichi del jet su una pavimentazione in calcestruzzo. Viene sviluppato un modello FEM tridimensionale, non lineare e transitorio, che consente di simulare la distribuzione della temperatura all'interno della lastra di calcestruzzo e le conseguenti sollecitazioni termiche indotte dal getto dei motori. I risultati delle simulazioni mostrano che le lastre di calcestruzzo rinforzate con fibre d'acciaio presentano una maggiore resistenza alle elevate temperature e sollecitazioni termiche rispetto al calcestruzzo convenzionale.

Il potenziamento strutturale delle pavimentazioni aeroportuali è anche l'oggetto del lavoro [94], che riguarda uno studio teorico ed applicativo relativo all'utilizzo di reti in acciaio, anche in soluzioni composite costituite dall'abbinamento con specifiche miscele bituminose. Sono oggetto di analisi due applicazioni peculiari: il rinforzo di fondazioni aeroportuali mediante rete in acciaio e l'utilizzo di reti abbinate a slurry seal nella manutenzione di sovrastrutture rigide, semirigide e flessibili. Grazie ad un'articolata serie di test di laboratorio (tra i quali una prova meccanica per la simulazione dell'innescio e della propagazione delle fessure, che ha richiesto la messa a punto di un'apposita apparecchiatura), gli Autori hanno potuto analizzare il ruolo dell'interfaccia nelle pavimentazioni multistrato, verificandone la capacità di assorbimento delle tensioni, di contenimento delle deformazioni, di incremento della capacità portante, di distribuzione dei carichi. Le analisi

sperimentali sono state poste a confronto con studi teorici di cui hanno fornito la validazione.

La ricerca di cui alla memoria [95] affronta il tema della manutenzione delle pavimentazioni aeroportuali di vecchi aeroporti militari in cui il sottofondo e gli strati portanti delle sovrastrutture sono consolidati e tuttora resistenti, mentre gli strati bituminosi superficiali appaiono ammalorati e fessurati, con compromissione potenziale del resto della sovrastruttura, anche a causa dell'infiltrazione di acque meteoriche. Viene analizzata la possibilità di rinforzare le predette pavimentazioni inserendo all'interfaccia fra gli strati inferiori e quelli superficiali un geotessuto accoppiato ad una membrana SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Viene, in particolare, studiata la possibile criticità determinata dal distacco e scorrimento dello strato di usura, determinata dalla presenza del rinforzo, effettuando prove di taglio diretto ed una modellazione mediante "multistrato elastico".

Lo studio [96] trae spunto da una estesa campagna di misure eseguite su sottofondi stradali con metodologie di indagine diverse (deflettometro portatile leggero, penetrometro DCP, carico su piastra, CBR) per stabilire alcune correlazioni fra i parametri di prova per una più rapida caratterizzazione dei materiali granulari, in particolare per la qualificazione di superfici particolarmente estese, come quelle delle strip o dei sottofondi delle infrastrutture operative aeroportuali.

In [97] viene descritta una campagna di prove volta a caratterizzare conglomerati bituminosi modificati al grafene quali materiali idonei a potenziare, in sede di manutenzione, pavimentazioni soggette a carichi canalizzati e lenti (quali quelli aeroportuali), per ottimizzarne la resistenza a fatica ed alle deformazioni permanenti. Il lavoro trae origine dalla sperimentazione condotta per opere di manutenzione sulla pavimentazione della taxiway di un aeroporto di codice ARC D, la cui sovrastruttura risulta particolarmente sollecitata a seguito di manovre di push-back e di accesso agli stand del piazzale stazionamento. Dall'indagine eseguita si desume la potenzialità del modificante a base di grafene nell'elevare la portanza e ridurre le esigenze di manutenzione di pavimentazioni flessibili aeroportuali.

2.8.3 Dimensionamento

Il dimensionamento delle pavimentazioni aeroportuali è stato argomento di interesse già nel 1999, quando, in occasione del Convegno Nazionale S.I.I.V., sono stati presentati i metodi razionali per la schematizzazione teorica delle pavimentazioni e per le verifiche a fatica e ormaimento [98].

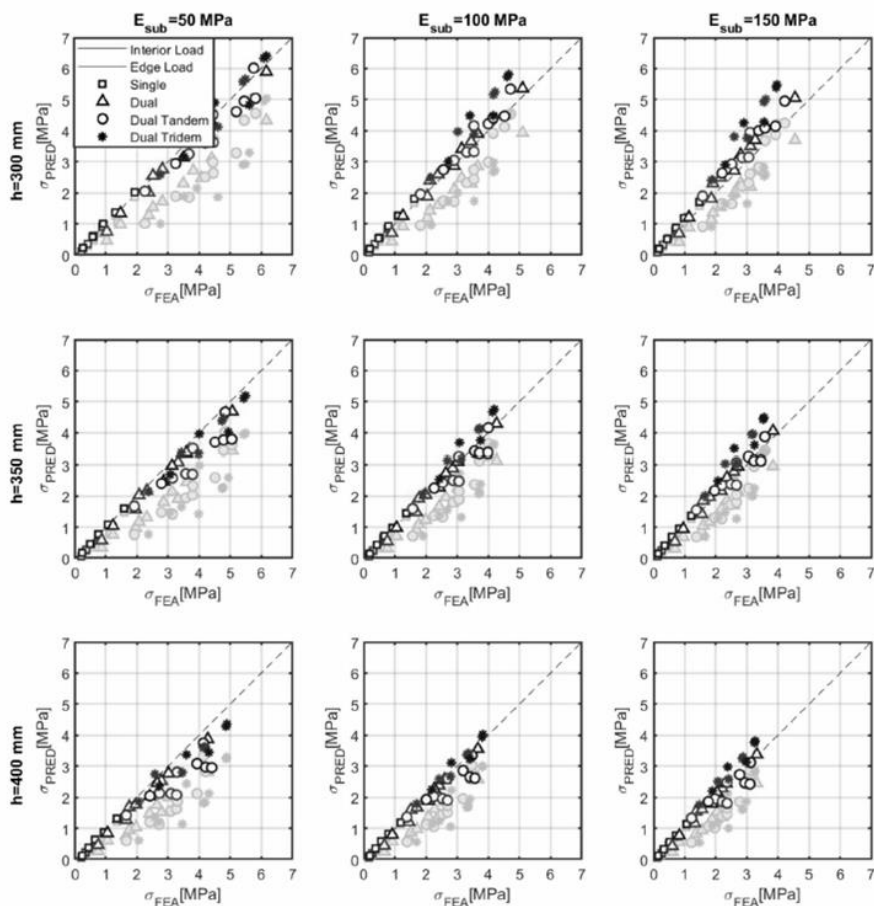
Lo stesso tema è stato affrontato più recentemente analizzando le pavimentazioni in calcestruzzo a lastre non armate senza barre di compartecipazione utilizzate negli aeroporti militari [99]. Le lastre sono state analizzate con il programma agli elementi finiti 3D della FAA, il FAARFIELD, e con la teoria di Westergaard, per diverse condizioni del sottofondo e di traffico. A conclusione dello studio è stato redatto un catalogo di pavimentazioni per le quali sono stati calcolati i costi di costruzione considerando due diverse modalità di costruzione: casseforme fisse e casseforme scorrevoli. Il catalogo può essere un mezzo semplice e veloce per la progettazione preliminare e una prima valutazione dei costi.

Gli Autori dell'articolo [100] hanno proposto un modello di analisi per la valutazione del comportamento delle pavimentazioni aeroportuali flessibili soggette a fessurazioni da freddo, un fenomeno particolarmente rilevante per la durabilità e la sicurezza delle superfici aeroportuali. Gli autori hanno sviluppato un approccio basato sul metodo degli elementi finiti, integrato con prove sperimentali condotte per caratterizzare le proprietà reologiche dei leganti bituminosi a basse temperature. L'obiettivo principale è stato quello di prevedere le temperature critiche a cui si innescano le fessurazioni termiche, permettendo così una valutazione più precisa delle prestazioni a lungo termine della pavimentazione. Il modello è stato validato utilizzando i dati provenienti da un aeroporto recentemente sottoposto a interventi di riabilitazione strutturale, dove sono stati confrontati i risultati teorici con quelli misurati in campo. Il lavoro evidenzia l'importanza di considerare gli effetti del freddo nei progetti aeroportuali e fornisce strumenti utili per la progettazione e la manutenzione preventiva delle infrastrutture.

In [101] vengono poste a confronto procedure diverse, tutte di tipo non distruttivo, per la valutazione della capacità portante di una pavimentazione flessibile di un aeroporto di 3° livello, finalizzata ad opere di adeguamento.

Viene in particolare valutata l'idoneità di prove HWD, LWD, GPR in relazione all'affidabilità del dato fornito e della procedura di calcolo adottata, individuando alcune correlazioni fra i parametri meccanici, idonee ad un più snello calcolo dimensionale.

Più recentemente, gli Autori del lavoro [102] hanno proposto un modello probabilistico per la definizione del campo tensionale, alla base di una lastra di calcestruzzo, indotto dal traffico aeroportuale agente su pavimentazioni rigide. Lo studio è incentrato sul confronto tra metodi teorici approssimati basati sugli studi di Westergaard e un set di numerose simulazioni FEM, svolto su un nutrito database di carrelli di carico reali. I risultati mettono in luce la possibilità di impiegare un modello statistico rapido per una valutazione della tensione attesa alla base della lastra di calcestruzzo per ogni tipologia di aeromobile, al variare delle condizioni di progetto (es. spessore della lastra, portanza del sottofondo), con un'affidabilità della stima molto elevata soprattutto per configurazioni di carrelli più semplici.



Applicazione del modello statistico per il calcolo degli stress nelle pavimentazioni rigide in diverse condizioni di carico, spessori della pavimentazione e portanza del sottofondo [102]

Infine, la ricerca [103] si incentra sulla definizione dei requisiti di portanza nell'area libera livellata (CGA) proponendo la suddivisione delle CGA in strisce di larghezza e capacità portante specifiche, decrescenti verso l'esterno. Tale suddivisione è stata fondata su una procedura di valutazione del rischio basata sullo storico di incidenti di deviazione laterale in tutto il mondo (1980-

2016). Sono state valutate le probabilità e le conseguenze associate alle distanze laterali percorse dagli aeromobili in deviazione laterale rispetto all'asse della pista. I rischi sono stati calcolati combinando probabilità e conseguenze. La ricerca propone tre strisce CGA a diverse distanze (30-50, 50-65 e 65-105 m) dall'asse della pista. Il parametro di portanza CBR associato a ciascuna striscia CGA è stato determinato tramite un modello di simulazione di virata, considerando diversi angoli di uscita, proprietà del terreno e altre caratteristiche. Tra le diverse combinazioni di CBR considerate, conformi alle normative vigenti, quelle ritenute più adatte a garantire l'arresto più sicuro degli aeromobili (a determinati angoli di uscita e condizioni di peso) sono state impostate su 17, 16 e 15 per ciascuna striscia. Sono state inoltre proposte ulteriori misure di sicurezza.

2.8.4 Eliporti

I temi precedenti sono stati declinati anche per le pavimentazioni eliportuali. Il primo lavoro [104] presenta i risultati dell'analisi numerica di un eliporto temporaneo a livello del suolo pavimentato con elementi modulari realizzati in lega di alluminio, incastrati sui lati al fine di ottenere una pavimentazione continua. Gli effetti dei carichi trasmessi dagli elicotteri comunemente utilizzati in Italia dalle forze dell'ordine, dalla protezione civile e dai servizi di emergenza o soccorso sono stati analizzati con il pacchetto software ANSYS® R17.1. La pavimentazione esaminata è composta da matrici in alluminio di 4.1 cm di spessore, uno strato granulare di 30 cm di spessore e una membrana geotessile sul sottofondo compattato. Sono state esaminate diverse configurazioni di carico statico sia in condizioni di emergenza che operative considerando il carico al centro della matrice di alluminio e sui giunti sia trasversali che longitudinali. La soluzione esaminata ha interessanti implicazioni per le situazioni di emergenza, infatti garantisce una soluzione immediata, che può essere smantellata e ricollocata una volta terminata l'emergenza.

Nel secondo lavoro [105], la struttura e la logica dell'APMS sono state replicate per implementare un innovativo Heliport Pavement Management System (HPMS), basato su indici di stato delle pavimentazioni rigide e flessibili dell'aeroporto di Vergiate, e sono stati sviluppati due piani ventennali

di manutenzione e riabilitazione della pavimentazione, in cui i risultati di approcci reattivi e proattivi sono stati confrontati per identificare la strategia migliore in termini di costi e livello di servizio della pavimentazione.

2.8.5 *Criticità e sviluppi futuri*

La ricerca sulle sovrastrutture aeroportuali ha evidenziato importanti progressi, ma permangono alcune criticità comuni ai diversi ambiti. Tra queste si segnalano la variabilità e l'eterogeneità dei dati disponibili, che rendono complessa la calibrazione e la generalizzazione dei modelli predittivi; la limitata disponibilità di dati sperimentali per la validazione dei modelli di dimensionamento in condizioni di esercizio estreme; la mancanza di protocolli e linee guida standardizzate per l'adozione e la qualificazione di materiali innovativi; l'elevato costo iniziale di alcune soluzioni, non sempre bilanciato da vantaggi nel ciclo di vita; e, infine, la scarsità di studi sistematici sulle pavimentazioni eliportuali.

Gli sviluppi futuri dovranno concentrarsi sulla creazione di banche dati condivise, sull'integrazione di tecniche di monitoraggio in tempo reale basate su sensori e digital twin, sulla definizione di procedure armonizzate a livello internazionale per la progettazione e la manutenzione, e sulla promozione di approcci orientati alla durabilità e alla sostenibilità tramite *Life Cycle Assessment* e *Life Cycle Cost Analysis*. L'obiettivo sarà assicurare pavimentazioni più sicure, resilienti e compatibili con l'evoluzione del traffico e delle esigenze operative.

2.9 Urban Air Mobility

2.9.1 *Il contributo alla ricerca*

Con la diffusione e lo sviluppo dei droni e delle tecnologie ad essi associati, si è iniziato a sviluppare anche il concetto di Urban Air Mobility (UAM). In generale quando si parla di UAM si intende il sistema di trasporto aereo a cortissimo raggio (entro i 50 km) e a bassa quota (sotto i 5000 piedi da terra). La mobilità urbana aerea racchiude in sé diverse tematiche che vanno al di fuori del solo trasporto passeggeri. Quando si parla oggi di UAM, si comprendono anche i servizi di emergenza medica, il monitoraggio del traffico o delle infrastrutture, della sicurezza del cittadino e soprattutto del trasporto di merci (UGD - Urban Goods Delivery). Per il corretto funzionamento del sistema di UAM è fondamentale l'integrazione e l'interoperabilità tra diverse componenti chiave: l'infrastruttura fisica rappresentata dai vertiporti, l'infrastruttura digitale tramite le reti di comunicazione (5G, 6G), i mezzi di trasporto aerei (come droni e aerotaxi), il sistema di gestione e controllo del traffico aereo e il sistema di gestione del servizio.

Negli ultimi anni, gli studiosi della S.I.I.V. hanno dato un contributo significativo all'approfondimento e allo sviluppo delle conoscenze su questa tematica.

Nel lavoro [106] viene presentato un caso studio, precursore dell'attuale attenzione verso la UAM. La memoria analizza le potenzialità di modi/sistemi alternativi di spostamento, individuando nell'elicottero un vettore sufficientemente flessibile per poter vincere i condizionamenti che oggi ostano il regolare spostamento delle persone nelle brevi distanze e/o in situazioni di urgente necessità (protezione civile, soccorso). A tale scopo è studiata la possibilità, anche sulla base di precedenti progetti formulati all'estero, di utilizzare il suddetto aeromobile quale sistema di trasporto in una rete capillarmente diffusa nel territorio regionale Veneto e integrata con il sistema infrastrutturale locale e nazionale.

Pensando di interfacciare tale sistema di trasporto con la rete aeroportuale, è stata eseguita un'indagine presso le principali aerostazioni al fine di valutare la domanda che l'elicottero potrebbe assorbire nello spostamento di persone.

Definita la tipologia di infrastrutture necessarie per eliporti o elisuperfici, è stato stimato il parco veicolare richiesto per i diversi utilizzi e sono stati altresì valutati i tempi e i costi di impiego dell'aeromobile, arrivando ad una completa caratterizzazione delle potenzialità del velivolo nell'ambito regionale esaminato.

Le soluzioni possibili per implementare una rete di mobilità aerea urbana a Milano sono state analizzate in [107]. La rete comprende 8 vertiporti per il trasporto passeggeri tra i due aeroporti principali della città e la città stessa, utilizzando velivoli elettrici a decollo e atterraggio verticale (eVTOL). Un modello di simulazione in tempo reale con il software AirTOP (Air Traffic Optimization) ha permesso di valutare la capacità ideale della rete variando due configurazioni, che differiscono tra loro in termini di numero di aree di avvicinamento e decollo finale (FATO, Final Approach and Takeoff). I risultati mostrano come sia possibile raggiungere elevate capacità orarie (nell'ordine del centinaio), consentendo così l'utilizzo del servizio a circa il 4% del totale dei passeggeri in transito nei due aeroporti durante il giorno di riferimento scelto per questo studio. Raddoppiare il numero di FATO può effettivamente raddoppiare la capacità di ciascun vertiporto e, di conseguenza, la capacità complessiva della rete, consentendo un volume maggiore di voli e passeggeri. Tuttavia, una configurazione a doppia FATO aumenta anche significativamente i costi associati. È necessaria un'area più ampia per ospitare parcheggi aggiuntivi, terminal passeggeri ampliati e strutture migliorate, tutti fattori che comportano un aumento delle spese di costruzione, operative e di manutenzione. Inoltre, la gestione del traffico diventa più complessa, con implicazioni per i fornitori di servizi che devono essere prese in considerazione.

2.9.2 Criticità e sviluppi futuri

Lavori futuri potrebbero esplorare simulazioni delle infrastrutture terrestri, incorporando un'analisi più dettagliata dei siti dei vertiporti selezionati, il che potrebbe anche richiedere revisioni delle procedure aeree e terrestri.

Un altro aspetto cruciale per lo sviluppo futuro dei vertiporti riguarda la definizione di materiali innovativi da impiegare nella loro realizzazione, la capacità strutturale richiesta per supportare i nuovi mezzi aerei e la

progettazione di un'adeguata segnaletica, sia orizzontale che luminosa, in linea con le esigenze operative e di sicurezza.

2.10 La capacità aeroportuale

2.10.1 Il contributo alla ricerca

Un'infrastruttura aeroportuale è un complesso sistema formato da numerosi sottosistemi, tutti interagenti fra di loro. In tal senso, quasi tutti gli articoli contemplano una suddivisione della trattazione del “sistema aeroporto” in due ambiti: *airside* (lato aria o area sterile) e *land side* (lato terra). L'*airside* comprendente parte del terminal aeroportuale (dopo i controlli di sicurezza), il piazzale (*Apron*) di stazionamento degli aeromobili, le vie di rullaggio (taxiways) e la pista o piste di volo (runways). Il lato terra è articolato nelle numerose componenti dell'area terminale (prima dei controlli di sicurezza) a servizio del passeggero e nei servizi accessibili al pubblico generale, come parcheggi, vie di accesso ai terminal e aree di trasporto pubblico.

Un consistente numero di articoli affronta il tema della capacità dell'*airside*. La capacità *airside* viene convenzionalmente misurata in “numero di operazioni volo eseguite nell'ora di punta, compatibilmente con un assegnato livello di ritardo”. Essa risulta funzione della capacità delle singole componenti dell'infrastruttura di volo, ossia: spazio aereo, pista o piste di volo, sistema di taxiway e, infine, area di sosta terminale. Tutte le predette componenti sono in serie fra di loro e pertanto la capacità dell'intera infrastruttura è pari alla minore tra le capacità delle singole componenti. Ai fini dell'individuazione del *bottle neck* dell'infrastruttura è dunque importante analizzare tutte le subcomponenti del sistema. Esse a loro volta possono dipendere non solo dall'ampiezza della componente infrastrutturale in esame, ma anche da fattori umani o dalle condizioni meteorologiche.

Ciò premesso, le ricerche esaminate sull'argomento sono principalmente concentrate sulla capacità della pista/piste e dello spazio aereo di prossimità all'aeroporto (*airside*).

Tutti gli autori citano la *Advisory Circular* della FAA “Airport Capacity and Delay”, con i successivi sviluppi, quale primo documento che storicamente ha

dato vita alla ricerca nel campo della capacità degli aeroporti. Essi, tuttavia, concordano sul fatto che essa possa rappresentare un punto di partenza per il calcolo della capacità di una pista, ma che non possa fornire il risultato definitivo.

I lavori [108-116], sviluppati fino al 2010 circa, sono basati su dati sperimentali raccolti dai tabulati provenienti dai tracciati radar di un aeroporto monopista dell'Italia Centrale ed analizzati mediante metodi statistici. La singola striscia del tabulato comprendeva l'ora effettiva di arrivo, quella schedata e gli estremi dell'aeromobile. I dati furono raccolti durante i mesi estivi, di maggior traffico, per ottenere il massimo numero di operazioni volo sostenibili dall'infrastruttura all'epoca dei rilievi. In generale, la capacità risultò influenzata anche dalle tipologie di operazioni (presenza di più atterraggi o più decolli), varietà di aeromobili in avvicinamento/decollo e condizioni meteorologiche. I valori ottenuti risultarono sensibilmente inferiori a quelli ricavabili dalla *Advisory Circular* della FAA, aprendo alla potenziale applicazione della metodologia ad altri aeroporti monopista muniti di caratteristiche infrastrutturali simili.

Altri lavori investigano invece in direzioni diverse. In particolare, la ricerca [117] analizza un aeroporto, munito di due piste intersecantisi, utilizzando il software "Airtop", attraverso una serie di simulazioni tipo FTS (Fast Time Simulation). Si è partiti dal traffico presente all'epoca della simulazione sull'aeroporto (anche ai fini di calibrazione) compreso tra 145 e 185 operazioni al giorno e lo si è successivamente incrementato per step fino a raggiungere il valore massimo di operazioni di volo, compatibile con un ritardo medio di 10 minuti. I risultati hanno fornito le migliori possibili combinazioni di utilizzabilità delle due piste ed il relativo numero massimo di operazioni di volo sull'infrastruttura.

In [118] vengono messi a confronto i risultati ottenuti su un aeroporto munito di tre piste di volo con due metodologie diverse: una simulazione di tipo FTS e il semplice calcolo ottenibile mediante le disposizioni della *Advisory Circular* della FAA. I risultati hanno mostrato, anche in questo caso, come i risultati ottenibili mediante i modelli FAA siano più ottimistici rispetto a quelli ottenibili con simulazioni FTS, fino al 30% in più.

Un confronto analogo è stato presentato in [119] su un aeroporto italiano con un elevato volume di traffico per analizzare due layout: quello attuale con una pista, e uno futuro con miglioramenti geometrici e funzionali (ad esempio, vengono considerate una nuova pista e condizioni operative modificate). Per un dato Livello di Servizio e diversi periodi di riferimento, sono state calcolate le capacità di saturazione e sostenibili. Il confronto delle capacità ha consentito di valutare l'affidabilità dei risultati ottenuti e di valutare i potenziali guadagni di capacità dell'infrastruttura. In particolare, i risultati dimostrano che le metodologie più semplici della FAA potrebbero stimare accuratamente entrambi gli scenari, anche se è raccomandabile il più complesso metodo FTS per valutare la capacità giornaliera e annuale sulla base della reale domanda di traffico nel tempo.

In [120] è stato invece sviluppato un foglio di calcolo che permette di valutare, in via preliminare, la capacità del solo sistema di piste di volo in configurazioni multiple. L'esigenza nasce dal mancato aggiornamento dei modelli speditivi della FAA, che non includono la nuova classificazione degli aeromobili in funzione del livello di turbolenza prodotto. Poiché i simulatori sono molto costosi, il foglio fornisce una prima valutazione della capacità del sistema di piste che può essere usata per valutazioni preliminari o comunque a livello di classificazione.

In [121] gli Autori hanno indagato i fattori di tipo aleatorio che concorrono alla riduzione del ROT (runway occupancy time), uno degli elementi che maggiormente condizionano la capacità di un sistema aeroportuale. Nel dettaglio, attraverso il rilievo di dati sperimentali relativi alla pista 16L/34R dell'Aeroporto Leonardo Da Vinci di Roma Fiumicino, gli autori hanno potuto verificare la distribuzione statistica del rateo di decelerazione, delle velocità e delle posizioni di toccata, elementi che dipendono particolarmente dalla discrezionalità del pilota durante la manovra di atterraggio. In particolare, i risultati dello studio hanno mostrato come la scelta dell'uscita rapida da parte del pilota sia fortemente influenzata dalla lunghezza complessiva dei percorsi di rullaggio che lo conducono ai piazzali di sosta.

La ricerca contenuta in [122] si inserisce nel contesto della fine degli anni '90 in cui era di estrema importanza verificare l'applicabilità dei modelli USA per il calcolo della capacità delle piste di volo al contesto italiano. In tale contesto,

la pubblicazione analizza una serie di dati sperimentali riguardanti il distanziamento degli aeromobili per individuare la legge di variazione sulla base di criteri statistici. I risultati costituiscono la base per il calcolo della capacità oraria in condizioni di saturazione e per la messa a punto di un set di distanziamenti rappresentativi delle condizioni operative tipiche di una pista aeroportuale.

I lavori [123, 124] sono invece incentrati sulla valutazione del carico di lavoro dei controllori di volo che, a sua volta, può influenzare la capacità, in particolar modo dello spazio aereo. Entrambi i lavori partono da valutazioni eseguite da Eurocontrol su altri settori dello spazio aereo per valutare il *workload* sui controllori della TMA (area di manovra terminale). Le simulazioni mostrano che il raggiungimento dei livelli capacitativi per un'infrastruttura di riferimento comporta il superamento dei valori massimi di *workload* ammissibili, fattore di cui occorrerebbe tener conto.

Lo studio [125] propone una metodologia innovativa per la pianificazione delle rotte aeree, applicata al caso specifico di un collegamento diretto tra gli aeroporti di Napoli (NAP) e New York City (NYC). Gli autori analizzano il contesto di crescita del traffico aereo dovuto all'introduzione degli aerei wide-body e alla liberalizzazione del settore, evidenziando la necessità per compagnie aeree e gestori aeroportuali di ottimizzare la pianificazione delle tratte. Il cuore dello studio è la simulazione del comportamento dei passeggeri nella scelta tra diverse opzioni di viaggio, basata sull'utilizzo di un modello Logit, in grado di stimare la probabilità che un viaggiatore scelga una determinata alternativa. Sono ipotizzati tre scenari diversi, variando i parametri considerati: nel primo sono inclusi tempo di viaggio, costo, frequenza e qualità del servizio; nel secondo solo tempo e frequenza; nel terzo viene introdotta una variabile legata alla disponibilità di posti. Dopo la calibrazione del modello sulla situazione attuale, gli autori simulano l'introduzione del collegamento diretto NAP-NYC e valutano i flussi passeggeri conseguenti, comparandoli con quelli degli itinerari esistenti con scalo. I risultati mostrano che la nuova rotta, senza scali intermedi, risulterebbe molto attrattiva per i passeggeri, ma la sua sostenibilità economica dipenderebbe da tariffe e frequenze adeguate, con una redditività prevista non prima di 4 anni.

Diversamente dagli articoli già menzionati, il lavoro [126] è dedicato alla capacità dell'area terminale, *landside*. Gli Autori hanno realizzato un foglio di calcolo, basato su 9 sezioni, che permette di valutare la quadratura delle singole aree del terminal (check in, sicurezza, ecc.) in base a prefissati standard internazionali. Il foglio è basato sulle specifiche contenute nell'*Airport development reference manual* edito dalla IATA. Il foglio comprende anche la possibilità di inserire regole per il distanziamento correlate ad eventi pandemici.

Di più ampio respiro l'articolo [127]. Questo studio propone un approccio metodologico per analizzare e progettare un sistema aeroportuale integrato nella regione Campania, evidenziando l'inadeguatezza dell'attuale offerta di trasporto aereo rispetto alla crescente domanda. Nel 2001, la Campania era servita in modo quasi esclusivo dall'aeroporto di Napoli, configurandosi quindi come un sistema mono-aeroporto, incapace di soddisfare efficacemente le esigenze del territorio. Gli Autori sostengono la necessità di superare la logica del singolo scalo e di considerare l'insieme degli aeroporti come un sistema interconnesso, in cui ogni infrastruttura collabora con le altre per ottimizzare l'offerta complessiva. L'analisi si basa su strumenti quantitativi e prende spunto da esperienze nazionali e internazionali, mettendo in discussione approcci convenzionali come l'espansione delle infrastrutture esistenti o la semplice costruzione di nuovi aeroporti. La tesi centrale è che la creazione di un sistema aeroportuale regionale o metropolitano – inteso come rete di aeroporti in forte interazione – permetta di gestire in modo più efficiente i flussi di traffico, migliorando accessibilità, capacità e qualità del servizio. Gli Autori propongono quindi un cambiamento di paradigma, suggerendo che solo una visione sistemica può rispondere efficacemente allo squilibrio tra domanda e offerta, contribuendo allo sviluppo territoriale in modo sostenibile e razionale.

Su un tema analogo si esprime lo studio [128]. L'articolo affronta lo studio della fattibilità di una terza infrastruttura aeroportuale in Sicilia, con l'obiettivo di integrare il nuovo scalo nel sistema già esistente composto dagli aeroporti di Palermo e Catania. La metodologia adottata si basa su un approccio quantitativo e razionale per analizzare in modo oggettivo l'impatto delle diverse alternative progettuali. Il processo di analisi è articolato in più

fasi: si inizia con la suddivisione territoriale della regione in bacini di utenza (zonizzazione), associati ai due aeroporti attualmente operativi. Successivamente, si passa alla modellazione del comportamento degli utenti nella scelta tra le diverse opzioni di viaggio, attraverso un modello probabilistico di utilità aleatoria. Il modello è calibrato sui dati reali e validato per verificarne la capacità di riprodurre le scelte effettive dei passeggeri. Una volta validato, il modello è applicato a scenari alternativi, che prevedono l'introduzione di un nuovo aeroporto, con l'obiettivo di analizzare la redistribuzione della domanda di trasporto aereo sul territorio. I risultati hanno permesso di simulare gli effetti delle diverse ipotesi di localizzazione, offrendo una prima indicazione sull'area più idonea per la realizzazione del nuovo scalo. Lo studio dimostra l'utilità della modellazione comportamentale come strumento di supporto alle decisioni strategiche in ambito infrastrutturale e pianificazione aeroportuale.

2.10.2 Criticità e sviluppi futuri

I lavori sviluppati dalla S.I.I.V. coprono, dunque, il tema della capacità delle piste di volo e dello spazio aereo di avvicinamento (ACC e TMA). Un possibile sviluppo futuro concerne l'approfondimento della capacità operativa del sistema di taxiway e del piazzale aeroportuale, accompagnato da criteri di normalizzazione dei risultati per estenderne l'applicabilità a contesti diversi da quello di studio.

Un aspetto ancora poco approfondito riguarda la capacità operativa dei mezzi utilizzati dagli handler per la gestione del piazzale e l'efficienza del sistema di smistamento bagagli (BHS – Baggage Handling System). Non risultano disponibili analisi documentate sulla capacità del sistema BHS in relazione al numero di voli in arrivo e in partenza. Analogamente, manca una valutazione del rischio di congestione delle vie di servizio in caso di incremento del numero di handler operanti in aeroporto, ciascuno dotato di propri mezzi per le attività di rampa.

Bibliografia

- [1] Pasetto, M., & Barbati, S. D. (2012). Aeroporti e Territorio, oppure Territorio e Aeroporto?. *TRASPORTI & CULTURA*, 32, 6-13.
- [2] Pasetto, M., & Giacomello, G. (2012). L'aeroporto internazionale di Dubai. *TRASPORTI & CULTURA*, 32, 38-45.
- [3] Pasetto, M. (2006). Genova come Osaka: progettare un aeroporto e la sua isola. *TRASPORTI & CULTURA*, 14, 65-67.
- [4] Scagnetto, M., & Pasetto, M. (2004). L'aeroporto Marco Polo di Venezia, dalla costruzione al recente piano di manutenzione delle sovrastrutture. *STRADE & AUTOSTRADE*, 43, 68-73.
- [5] Tesoriere, G., Russo, A., De Cet, G., Vianello, C., & Campisi, T. (2023). The centrality of Italian airports before and after the COVID-19 period: what happened. *European Transport/Trasporti Europei*, 93, 1-16.
- [6] Campisi, T., Sanfilippo, L., Brignone, A., Tesoriere, G., & Al-Rahid, M. A. (2025). Enhancing Catania airport system's accessibility and competitiveness via Car Floating Data utilisation. *Transportation Research Procedia*, 90, 742-749.
- [7] Tesoriere, G., Campisi, T., Canale, A., Severino, A., & Arena, F. (2018, November). Modelling and simulation of passenger flow distribution at terminal of Catania airport. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2040, No. 1, p. 140006). AIP Publishing LLC.
- [8] Ricci, S. (1999). L'impatto dei nuovi aerei a grande capacità sul piano regolatore degli aeroporti - Il caso di Paris Charles de Gaulle. In *IX Convegno Nazionale S.I.I.V. (Cagliari) - Pianificazione e gestione di infrastrutture ferroviarie e aeroportuali*
- [9] Lamberti, R., Dell'Acqua, G., & De Riso Di Carpinone, V. (2001). Analisi e proposte per lo sviluppo degli aeroporti minori. In *INTERREG II C-TRASPORTI PROGRITTO MEDAIR* (pp. 1-25). Grafiche F. Ili Gaetano.

- [10] Tocchetti, A., De Riso Di Carpinone, V., & Camaldo, R. (2006). Analisi costi benefici per i loading bridge in un piazzale aeroportuale. *Strade e Autostrade*.
- [11] Pasetto, M., & Giacomello, G. (2021). Considerazioni su mobilità, trasporti e pandemia. *TRASPORTI & CULTURA*, 60, 6-13.
- [12] Pasetto, M., & Giacomello, G. (2021). Turismo e trasporto aereo: quali prospettive dopo la pandemia da COVID-19?. *TRASPORTI & CULTURA*, 61, 24-33.
- [13] Mancinelli, E., Rizza, U., Canestrari, F., Graziani, A., Virgili, S., & Passerini, G. (2022). New habits of travellers deriving from COVID-19 pandemic: A survey in ports and airports of the adriatic region. *Sustainability*, 14(14), 8290.
- [14] Pasetto, M., & Giacomello, G. (2020). I sistemi di trasporto a confronto: esternalità e impatti ambientali. *TRASPORTI & CULTURA*, 56, 17-25.
- [15] Pasetto, M., & Manganaro, A. (2006). Relazioni fra aeroporto e territorio: economia e ambiente. *TRASPORTI & CULTURA*, 14, 9-15.
- [16] Pasetto, M., & Manganaro, A. (2006). Infrastrutture, ambiente, territorio. In su" *Notiziario Ordine Ingegneri di Verona*" (Vol. 2, pp. 25-28). Polis.
- [17] Mancinelli, E., Canestrari, F., Graziani, A., Rizza, U., & Passerini, G. (2021). Sustainable performances of small to medium-sized airports in the adriatic region. *Sustainability*, 13(23), 13156.
- [18] Di Mascio, P., Corazza, M. V., Rosa, N. R., & Moretti, L. (2022). Optimization of aircraft taxiing strategies to reduce the impacts of landing and take-off cycle at airports. *Sustainability*, 14(15), 9692.
- [19] Corazza, M. V., & Di Mascio, P. (2024). Strategies to Reduce Pollutant Emissions in the Areas Surrounding Airports: Policy and Practice Implications. *Future Transportation*, 4(3), 820-833.
- [20] Corazza, M. V., Di Mascio, P., & Esposito, G. (2022). Airports as sensitive areas to mitigate air pollution: evidence from a case study in rome. *Environments*, 9(9), 108.

- [21] Corazza, M. V., Di Mascio, P., & Esposito, G. (2022, June). A comparative study on air emissions generated by aircraft and passenger cars at a medium-size Italian airport. In 2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe) (pp. 1-6). IEEE.
- [22] Pasetto, M. (2025). Nuovi scenari e strategie per un trasporto aereo maggiormente sostenibile. *Trasporti & Cultura*, 69, 53-59.
- [23] Lantieri, C., Mantecchini, L., & Vignali, V. (2016, February). Application of noise abatement procedures at regional airports. In *Proceedings of the institution of civil engineers-Transport* (Vol. 169, No. 1, pp. 42-52). Thomas Telford Ltd.
- [24] Tocchetti, A., Fiengo, S., & De Riso Di Carpinone, V. (2000). *Il rumore provocato dal traffico aereo: il caso dell'aeroporto di Capodichino*. Edizioni Scientifiche Italiane.
- [25] Tocchetti, A., De Riso Di Carpinone, V., & Mennitti, F. (2006). *Uno studio di impatto acustico sull'aeroporto di Capodichino. Strade e Autostrade*.
- [26] Pasetto, M., & Bortolini, G. (2006). Guidelines for an airport safety management system. In *PEMT'06 Proceedings* (Vol. 2, pp. 267-274). BBM Ltd..
- [27] Benedetto, A. (2002). A decision support system for the safety of airport runways: the case of heavy rainstorms. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(8), 665-682.
- [28] Bassani, M. (1999). *Analisi del comportamento dinamico di letti di arresto per aeromobili*. In IX Convegno Nazionale S.I.I.V. (Cagliari) - Pianificazione e gestione di infrastrutture ferroviarie e aeroportuali
- [29] Benedetto, A., & Tosti, F. (2013). Inferring bearing ratio of unbound materials from dielectric properties using GPR: the case of Runaway Safety Areas. In *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements* (pp. 1336-1347).
- [30] Benedetto, A., D'Amico, F., & Tosti, F. (2014). Improving safety of runway overrun through the correct numerical evaluation of rutting in Cleared and Graded Areas. *Safety science*, 62, 326-338.

- [31] Moretti, L., Cantisani, G., Di Mascio, P., Nichele, S., & Caro, S. (2017). A runway veer-off risk assessment based on frequency model: Part I. probability analysis. In *Transport infrastructure and systems* (pp. 515-522). CRC Press.
- [32] Moretti, L., Cantisani, G., Di Mascio, P., Nichele, S., & Caro, S. (2017). A runway veer-off risk assessment based on frequency model: Part II. risk analysis. In *Transport infrastructure and systems* (pp. 523-528). CRC Press.
- [33] Moretti, L., Di Mascio, P., Nichele, S., & Cokorilo, O. (2018). Runway veer-off accidents: Quantitative risk assessment and risk reduction measures. *Safety science*, 104, 157-163.
- [34] Moretti, L., Cantisani, G., & Caro Spinel, S. (2017). Airport veer-off risk assessment: An Italian case study. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(12), 900-912.
- [35] Di Mascio, P., Cosciotti, M., Fusco, R., & Moretti, L. (2020). Runway veer-off risk analysis: An international airport case study. *Sustainability*, 12(22), 9360.
- [36] Potente, C., Ragnoli, A., Tamasi, G., Vergari, R., & Di Mascio, P. (2018). Quantitative risk assessment of temporary hazards and maintenance worksites in the airport safety areas: A case study. *Transportation research procedia*, 35, 166-175.
- [37] Čokorilo, O., De Luca, M., & Dell'Acqua, G. (2014). Aircraft safety analysis using clustering algorithms. *Journal of Risk Research*, 17(10), 1325-1340.
- [38] Cardi, A., Di Mascio, P., Di Vito, M., & Pandolfi, C. (2012). Distribution of air accidents around runways. *Procedia-social and behavioral sciences*, 53, 861-870.
- [39] Attaccalite, L., Di Mascio, P., Loprencipe, G., & Pandolfi, C. (2012). Risk assessment around airport. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53, 851-860.
- [40] Di Mascio, P., & Loprencipe, G. (2016). Risk analysis in the surrounding areas of one-runway airports: A methodology to preliminary calculus of PSZs dimensions. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(23), 13641-13649.

- [41] Di Mascio, P., Perta, G., Cantisani, G., & Loprencipe, G. (2018). The public safety zones around small and medium airports. *Aerospace*, 5(2), 46.
- [42] Di Mascio, P., Dinu, R., Loprencipe, G., & Moretti, L. (2024). Land Use Around Airports: Policies and Methods for Third-Party Risk Assessment—A Review. *Future Transportation*, 4(4), 1501-1519.
- [43] Moretti, L., Dinu, R., & Di Mascio, P. (2023). Collision risk assessment between aircraft and obstacles in the areas surrounding airports. *Heliyon*, 9(7).
- [44] Čavka, I., Mariani, M., Mirosavljević, P., Abbondati, F., & Čokorilo, O. (2014). LEARNING FROM ERRORS—CASE STUDY OF AN AIRCRAFT ACCIDENT. In *ICTTE* (pp. 444-450). City Net Scientific Research Center Ltd.
- [45] Biancardi, S. A., Viscione, N., Oreto, C., Veropalumbo, R., & Abbondati, F. (2020). BIM approach for modeling airports terminal expansion. *Infrastructures*, 5(5), 41.
- [46] Abbondati, F., Biancardi, S. A., Palazzo, S., Capaldo, F. S., & Viscione, N. (2020). I-BIM for existing airport infrastructures. *Transportation Research Procedia*, 45, 596-603.
- [47] Guerra de Oliveira, S., Tibaut, A., & Dell'Acqua, G. (2019, August). Airport pavement management systems: An open BIM approach. In *International Symposium on Asphalt Pavement & Environment* (pp. 450-459). Cham: Springer International Publishing.
- [48] Bertolini, L., Ciampoli, L. B., Pinto, R., & Benedetto, A. (2023, October). Survey of airport facilities: novel approaches. In *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XIV* (Vol. 12734, pp. 202-210). SPIE.
- [49] Domenico, T., Eliana, R., Di Graziano, A., & Claudia, A. (2022, September). Contribute of digital information modelling to Territorial Governance and Airport Safety interaction management. In *Conference of the Italian Society of Agricultural Engineering* (pp. 1257-1266). Cham: Springer International Publishing.
- [50] Di Graziano, A., Ragusa, E., Trifilò, D., Triaca, L. M., Trombetti, M., & Arcidiacono, C. (2023). Interaction between Airport Facilities and

- the Surrounding Area within the GIS and BIM Interoperability. *Transportation Research Procedia*, 69, 273-280.
- [51] Santagata, E., Barbati, S. D., & Graziani, A. (2006). GPR investigation for the optimization of runway maintenance. In *Second International Airports Conference: Planning, Infrastructure & Environment* (pp. 1-12).
 - [52] Graziani, A., Cardone, F., Santagata, E., & Barbati, S. (2009). Evaluation of runway bearing capacity: In-situ measurements and laboratory tests. In *Proc. 8 th conf. Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields BCR2A*, Taylor & Francis.
 - [53] Bianchini Ciampoli, L., Gagliardi, V., Ferrante, C., Calvi, A., D'Amico, F., & Tosti, F. (2020). Displacement monitoring in airport runways by persistent scatterers SAR interferometry. *Remote Sensing*, 12(21), 3564.
 - [54] Gagliardi, V., Bianchini Ciampoli, L., Trevisani, S., D'Amico, F., Alani, A. M., Benedetto, A., & Tosti, F. (2021). Testing Sentinel-1 SAR interferometry data for airport runway monitoring: a geostatistical analysis. *Sensors*, 21(17), 5769.
 - [55] Gagliardi, V., Ciampoli, L. B., D'Amico, F., Alani, A. M., Tosti, F., Battagliere, M. L., & Benedetto, A. (2021, July). Novel perspectives in the monitoring of transport infrastructures by Sentinel-1 and COSMO-SkyMed Multi-Temporal SAR Interferometry. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 1891-1894). IEEE.
 - [56] Gagliardi, V., Tosti, F., Bianchini Ciampoli, L., Battagliere, M. L., D'Amato, L., Alani, A. M., & Benedetto, A. (2023). Satellite remote sensing and non-destructive testing methods for transport infrastructure monitoring: Advances, challenges and perspectives. *Remote Sensing*, 15(2), 418.
 - [57] Baldo, N., Miani, M., Rondinella, F., & Celauro, C. (2021). A machine learning approach to determine airport asphalt concrete layer moduli using heavy weight deflectometer data. *Sustainability*, 13(16), 8831.

- [58] Baldo, N., Rondinella, F., & Celauro, C. (2022, September). Prediction of Airport Pavement Moduli by Machine Learning Methodology Using Non-destructive Field Testing Data Augmentation. In *International Conference on Trends on Construction in the Post-Digital Era* (pp. 62-75). Cham: Springer International Publishing.
- [59] Baldo, N., Miani, M., Rondinella, F., & Celauro, C. (2021, November). Artificial neural network prediction of airport pavement moduli using interpolated surface deflection data. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1203, No. 2, p. 022112). IOP Publishing.
- [60] Cimichella, S., Di Lauro, M., Di Mascio, P., & Domenichini, L. (1995). Non Destructive Testing Significance In Airport Pavement Maintenance Management. In *XXth World Road Congress AIPCR*, Montreal, 3-9 september 1995.
- [61] Di Mascio, P., & Moretti, L. (2019). Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces. *Case studies in construction materials*, 11, e00251.
- [62] Di Mascio, P., Ragnoli, A., Portas, S., & Santoni, M. (2021). Monitor activity for the implementation of a pavement—management system at cagliari airport. *Sustainability*, 13(17), 9837.
- [63] Di Graziano, A., Costa, A., & Ragusa, E. (2024). Using an Airport Pavement Management System to Optimize the Influence of Maintenance Alternatives on Operating Conditions. *Applied Sciences*, 14(16), 7158.
- [64] Ragusa, E., Costa, A., & Di Graziano, A. (2024). Exploring new computational strategies for managing maintenance activities of airport pavement systems. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 17(1), 80-101.
- [65] De Luca, M., Abbondati, F., Dell'Acqua, G., Yager, T. J., & Coraggio, G. (2015). Pavement friction decay: preliminary study in Lamezia Terme International Airport, Italy (No. 15-0126).

- [66] De Luca, M., Abbondati, F., Yager, T. J., & Dell'Acqua, G. (2016). Field measurements on runway friction decay related to rubber deposits. *Transport*, 31(2), 177-182.
- [67] De Luca, M., & Dell'Acqua, G. (2014). Runway surface friction characteristics assessment for Lamezia Terme airfield pavement management system. *Journal of Air Transport Management*, 34, 1-5.
- [68] De Luca, M., & Dell'Acqua, G. (2018). Touchdown remaining lift on the wings and dynamic vertical force transmitted to the runway. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(3), 590-595.
- [69] De Luca, M., Abbondati, F., Pirozzi, M., & Žilionienė, D. (2016). Preliminary study on runway pavement friction decay using data mining. *Transportation Research Procedia*, 14, 3751-3760.
- [70] Abbondati, F., Biancardo, S. A., Veropalumbo, R., Chen, X., & Dell'Acqua, G. (2023). An adaptive neuro-fuzzy inference system for assessing runway friction decay. *Measurement*, 213, 112737.
- [71] Biancardo, S. A., Abbondati, F., Russo, F., Veropalumbo, R., & Dell'Acqua, G. (2020). A broad-based decision-making procedure for runway friction decay analysis in maintenance operations. *Sustainability*, 12(9), 3516.
- [72] Graziani, A., Grilli, A., Miconi, D., & Godenzoni, C. (2013). Cyclic Approach to Airport Pavement Management Based on Non-Destructive Deflection Testing. *Advanced Materials Research*, 723, 1019-1026.
- [73] Praticò, F. G. (1999). La tessitura delle pavimentazioni aeroportuali: assiologia ed implicazioni terotecnologiche. In IX Convegno Nazionale S.I.I.V. (Cagliari) - Pianificazione e gestione di infrastrutture ferroviarie e aeroportuali
- [74] Pinto, R., Ciampoli, L. B., & Benedetto, A. (2025). Digital management of airport pavement: preliminary achievements on apron areas. *Transportation Research Procedia*, 90, 838-845.
- [75] Colonna, P., & Ranieri, V. (2002). Manutenzione e riqualificazione delle pavimentazioni rigide di piazzali aeroportuali.

- [76] Colonna, P., & Ranieri, V. (2020). Maintenance and repair of airfield apron rigid pavements. In *Bearing Capacity Of Roads Volume 2* (pp. 1179-1189). CRC Press.
- [77] Ranieri, V., & D'Auria, D. (2007, September). Cleared and graded area (CGA): critical analysis and proposal of a criterion for grading its bearing capacity. In *IV International S.I.I.V. congress* (pp. 12-14).
- [78] Di Graziano, A., Ragusa, E., Marchetta, V., & Palumbo, A. (2021). Analysis of an airport pavement management system during the implementation phase. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(4), 1424-1432.
- [79] Bruno, S., Del Serrone, G., Di Mascio, P., Loprencipe, G., Ricci, E., & Moretti, L. (2021). Technical proposal for monitoring thermal and mechanical stresses of a runway pavement. *Sensors*, 21(20), 6797.
- [80] Leonelli, F., Di Mascio, P., Germinario, A., Picarella, F., Moretti, L., Cassata, M., & De Rubeis, A. (2017). Laboratory and on-site tests for rapid runway repair. *Applied Sciences*, 7(11), 1192.
- [81] Di Mascio, P., Loprencipe, G., & Moretti, L. (2021). Economic evaluation of cement grouted bituminous mixes for airport pavements. *Materials*, 14(23), 7230.
- [82] Pasetto, M., & Baldo, N. (2005). Remarks on the use of granulated slags in bituminous mixtures for road and airport pavements. In *ICPT 2005 New Era of Pavement* (Vol. 1, pp. 364-371). Korean Society of Road Engineers.
- [83] Pasetto, M., & Baldo, N. (2013). Resistance to permanent deformation of road and airport high performance asphalt concrete base courses. *Advanced Materials Research*, 723, 494-502.
- [84] Merusi, F., Giuliani, F., Filippi, S., Moggi, P., & Polacco, G. (2011). Kerosene-resistant asphalt binders based on nonconventional modification. *Journal of transportation engineering*, 137(12), 874-881.
- [85] Giuliani, F., Merusi, F., Filippi, S., Biondi, D., Finocchiaro, M. L., & Polacco, G. (2009). Effects of polymer modification on the fuel resistance of asphalt binders. *Fuel*, 88(9), 1539-1546.

- [86] Santagata, E., Baglieri, O., & Riviera, P. P. (2013). Effect of anti-icing chemicals on stripping of asphalt concrete mixtures for airport runway wearing courses. In *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements* (pp. 1229-1239).
- [87] Santagata, E., Sogno, E. G., & Uras, S. (2009). Simulative Testing for the Assessment of Damage Caused by Anti-icing Chemicals on Bituminous Surface Mixtures for Airport Pavements. In *Sixth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIREPAV6)* International Society for Maintenance and Rehabilitation of Transportation Infrastructure Transportation Research Board.
- [88] Santagata, E., Bassani, M., & Sacchi, E. (2010). Performance of new materials for aircraft arrestor beds. *Transportation research record*, 2177(1), 124-131.
- [89] Bassani, M., Sacchi, E., & Canonico, F. (2012). Performance prediction for innovative crushable material used in aircraft arrestor beds. *Journal of materials in civil engineering*, 24(6), 725-734.
- [90] D'Amico, F., Ciampoli, L. B., & Tosti, F. (2019, July). A streamlined probabilistic methodology for risk assessment of early cracking in airfield concrete pavement design. In *International Airfield and Highway Pavements Conference 2019* (pp. 427-435). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- [91] Bianchini Ciampoli, L., Calvi, A., Gagliardi, V., Santoni, M., & Tosti, F. (2021). Integrated Non-Destructive Survey for the Prediction of Remaining Servicing Life of Airfield APRONs. In *Airfield and Highway Pavements 2021* (pp. 78-87).
- [92] Pasetto, M. (2002). Theoretical model for the characterisation of heat transfer in flexible pavements: field investigation on airfield pavements. In *4th ICPT'2002* (Vol. 2, pp. 1363-1370). People's Communications Publishing House.
- [93] Autelitano, F., Iacci, C., & Giuliani, F. (2017). Thermomechanical behaviour of airfield concrete pads supporting joint strike fighter F-35B. *Road Materials and Pavement Design*, 18(5), 1027-1048.

- [94] Pasetto, M., & Baldo, N. (2003). Potenziamento strutturale di pavimentazioni stradali ed aeroportuali mediante reti in acciaio composite. XIII Convegno Nazionale S.I.I.V. "Strade, Ferrovie, Aeroporti"
- [95] Tataranni, P., Sangiorgi, C., Simone, A., Vignali, V., Viola, P., & Dondi, G. (2015, August). Effects on bonding of anti-reflective cracking solutions at the top bituminous interface of a small airport pavement: A laboratory and modeling study. In 8th RILEM International Symposium on Testing and Characterization of Sustainable and Innovative Bituminous Materials (pp. 371-381). Dordrecht: Springer Netherlands.
- [96] Pasetto, M., Pasquini, E., Giacomello, G., & Baliello, A. (2018). Proposal of correlation among different soil bearing capacity parameters based on an extensive test campaign. In International Conferences on Traffic and Transport Engineering ICTTE (pp. 577-583).
- [97] Pasetto, M., Venturini, L., & Giacomello, G. (2024). Highly sustainable and long-lasting flexible pavements based on innovative bituminous mixtures. In Bituminous Mixtures and Pavements VIII (pp. 312-320). CRC Press.
- [98] Di Mascio, P., & D'Andrea, A. (1999). Metodologia razionale per il dimensionamento delle pavimentazioni aeroportuali. In IX Convegno Nazionale S.I.I.V. (Cagliari) - Pianificazione e gestione di infrastrutture ferroviarie e aeroportuali
- [99] Di Mascio, P., De Rubeis, A., De Marchis, C., Germinario, A., Metta, G., Salzillo, R., & Moretti, L. (2021). Jointed plain concrete pavements in airports: Structural-economic evaluation and proposal for a catalogue. *Infrastructures*, 6(5), 73.
- [100] Bassani, M., & Santagata, E. (2004). Modelling of flexible airport pavements subjected to thermal cracking. In *Cracking in Pavements: Mitigation, Risk Assessment and Prevention* (pp. 165-172). RILEM Publications SARL.
- [101] Pasetto, M. (2002). Methodologies for evaluation of airfield pavements bearing capacity: a comparative experimental

- investigation. In 4th ICPT'2002 (Vol. 2, pp. 1346-1353). People's Communications Publishing House.
- [102] Ciampoli, L. B., Pinto, R., & Benedetto, A. (2025). Multivariate regression analysis for rapid fatigue prediction in airport rigid pavements. *Results in Engineering*, 105959.
 - [103] Ranieri, V., Berloco, N., D'Auria, D., Disalvo, V., Fedele, V., Intini, P., & Colonna, P. (2021). Determination of Bearing Capacity of Cleared and Graded Areas at Airports. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 147(1), 04020086.
 - [104] De Rubeis, A., Di Mascio, P., Montanarelli, F., & Moretti, L. (2019). Design of a temporary surface-level helipad paved with aluminium mats. *EUROPEAN TRANSPORT/TRASPORTI EUROPEI*, (72).
 - [105] Di Mascio, P., Antonini, A., Narciso, P., Greto, A., Cipriani, M., & Moretti, L. (2021). Proposal and implementation of a heliport pavement management system: Technical and economic comparison of maintenance strategies. *Sustainability*, 13(16), 9201.
 - [106] Pasetto, M. (2006). Utilizzo dell'elicottero in una rete integrata di trasporto. Un caso-studio: il Veneto. *TRASPORTI & CULTURA*, 14, 77-83.
 - [107] Di Mascio, P., Celesti, M., Sabatini, M., & Moretti, L. (2024). Fast-Time Simulations to Study the Capacity of a Traffic Network Aimed at Urban Air Mobility. *Future Transportation*, 4(4), 1370-1387.
 - [108] De Riso Di Carpinone V. (1994). La capacità di traffico di lungo periodo degli aeroporti. *Dimensione Strada*.
 - [109] Capaldo, F. S., De Riso Di Carpinone, V., Grossi, R., & Tocchetti, A. (2000). Airport capacity according to ICAO rules: Some quantitative evaluations. In *Traffic and Transportation Studies (2000)* (pp. 803-810).
 - [110] Tocchetti, A., De Riso Di Carpinone, V., & Grossi, R. (2000). La definizione delle condizioni di capacità di una pista di volo. In *X Congresso Nazionale S.I.I.V. (Catania)*.
 - [111] De Riso Di Carpinone, V. (2000). *Messa a punto di una metodologia per la determinazione delle condizioni di capacità di una pista di volo aeroportuale ed applicazione ad un caso reale. Tesi di dottorato.*

- [112] Grossi, R., & De Riso Di Carpinone, V. (2002). Validazione di una metodologia per il calcolo della capacità di una pista di volo. In XII Congresso Nazionale S.I.I.V. (Parma).
- [113] Tocchetti, A., De Riso Di Carpinone, V., & Mennitti, F. (2006). Determinazione dell'operazione equivalente per la pista di volo dell'aeroporto di Napoli. Strade e Autostrade.
- [114] Tocchetti, A., De Riso Di Carpinone, V., & Mennitti, F. (2006). La valutazione della capacità delle piazzole di sosta degli aeroporti. Strade e Autostrade.
- [115] de Riso di Carpinone, V. (2008). Comparing Runway Capacity Between Two Italian Airports by Innovative Analysis Procedure (No. 08-2065).
- [116] de Riso di Carpinone, V., & Russo, F. (2009). Analysis of Delay at Milan Linate Airport in Italy (No. 09-0634).
- [117] Mascio, P. D., & Moretti, L. (2020). Hourly capacity of a two crossing runway airport. *Infrastructures*, 5(12), 111.
- [118] Di Mascio, P., Cervelli, D., Corraa, A. C., Frascaco, L., Luciano, E., & Moretti, L. (2021). Effects of departure manager and arrival manager systems on airport capacity. *Journal of Airport Management*, 15(2), 204-218.
- [119] Di Mascio, P., Cervelli, D., Corraa, A. C., Frascaco, L., Luciano, E., Moretti, L., & Nichele, S. (2020). A critical comparison of airport capacity studies. *Journal of Airport Management*, 14(3), 307-321.
- [120] Mascio, P. D., Rappoli, G., & Moretti, L. (2020). Analytical method for calculating sustainable airport capacity. *Sustainability*, 12(21), 9239.
- [121] Marchionna, A., Crisman, B., & Roberti, R. (1999). Studio sperimentale sulla determinazione della posizione ottimale per le uscite rapide di una pista aeroportuale. In IX Convegno Nazionale S.I.I.V. (Cagliari) - Pianificazione e gestione di infrastrutture ferroviarie e aeroportuali
- [122] De Riso di Carpinone, V., Grossi, R., & Tocchetti, A. (1999). Alcune considerazioni quantitative in tema di capacità delle piste di volo. In

IX Convegno Nazionale S.I.I.V. (Cagliari) - Pianificazione e gestione di infrastrutture ferroviarie e aeroportuali

- [123] Di Mascio, P., Pontillo, A., Ponziani, A., Dinu, R., & Moretti, L. (2023). Entry Count vs Occupancy Count to assess sector capacity with Fast Time Simulation. EUROPEAN TRANSPORT/TRASPORTI EUROPEI
- [124] Di Mascio, P., Carrara, R., Frascaco, L., Luciano, E., Ponziani, A., & Moretti, L. (2021). How the tower air traffic controller workload influences the capacity in a complex three-runway airport. *International journal of environmental research and public health*, 18(6), 2807.
- [125] Tocchetti, A., Romano, E., & De Riso Di Carpinone, V. (2000). A methodology for air route planning: the case Nap-Nyc. *TRASPORTI EUROPEI*, 15, 18-28.
- [126] Di Mascio, P., Moretti, L., & Piacitelli, M. (2020). Airport landside sustainable capacity and level of service of terminal functional subsystems. *Sustainability*, 12(21), 8784.
- [127] Capaldo, F. S., De Riso Di Carpinone, V., Galante, G., Romano, E., & Tocchetti, A. (2001). Il sistema aeroportuale campano: una nota metodologica. In *XI Convegno Nazionale S.I.I.V. (Verona)*, pp. 1-16.
- [128] Lamberti, R., De Riso Di Carpinone, V., & Romano, E. (2001). Il sistema aeroportuale siciliano: un caso di studio di ripartizione della domanda di trasporto aereo. In *XI Congresso Nazionale S.I.I.V. (Verona)*.

Luca Bianchini Ciampoli · Tiziana Campisi
Vittorio de Riso di Carpinone · Paola Di Mascio
Gilda Ferrotti · Cristina Oreto · Marco Pasetto
Alberto Portera · Dario Ticali

INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI

Didattica, ricerca e nuove sfide

Rapporto tecnico della S.I.I.V.



DOI: 10.6093/978-88-6887-371-4