

Salve,

vi inviamo una nota sul calcolo delle curve di isorischio per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze come potenziale contributo tecnico all'istruttoria di codesta Commissione. Ringraziamo per l'attenzione e rimaniamo a disposizione per eventuali approfondimenti.

Cordiali saluti,

Giovanni Modugno e Lorenzo Domenichini

Stima del rischio terzi in seguito ad incidenti aerei in prossimità dell'aeroporto di Firenze Peretola

Giovanni Modugno, Dipartimento di Fisica e Astronomia e LENS, Università di Firenze

giovanni.modugno@unifi.it

Lorenzo Domenichini, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze

lorenzo.domenichini@unifi.it

In questa nota si analizza il rischio per terzi da incidenti aerei in relazione al Masterplan 2014-2029 dell'aeroporto di Firenze Peretola. Si è studiato in particolare il modello irlandese per il calcolo del rischio individuale, su cui è basata la policy dell'ENAC di attuazione dell'art. 715 del Codice della Navigazione. Il modello non ha un limite inferiore di volume di traffico aereo, e può perciò essere utilizzato per aeroporti con traffico inferiore a 50000 movimenti/anno. Si è pertanto utilizzato il modello per effettuare una stima delle curve di isorischio che definiscono le zone di tutela attorno alla pista di progetto dell'aeroporto di Firenze. Il modello permette di effettuare il calcolo del rischio individuale anche nelle aree laterali alla pista di volo. Tale calcolo, che non può e non vuole sostituire il calcolo ufficiale che solo l'ENAC può compiere, mostra che alcune strutture ad elevato carico antropico già esistenti sul territorio sarebbero interessate da livelli di rischio considerati inaccettabili dal regolamento dell'ENAC. Questo studio rimarca perciò l'opportunità di compiere un'analisi esaustiva del rischio per terzi prima della conclusione della presente procedura di VIA. L'analisi del caso specifico dell'aeroporto di Firenze dà anche l'opportunità di porre alcune questioni generali riguardo alla metodologia di utilizzo e di integrazione delle zone di tutela previste dagli art. 707 e 715.

Indice

1. Introduzione: le motivazioni di questo studio	3
2. Aeroporti ed incidenti aerei, normativa internazionale	6
3. Normativa nazionale: piani di rischio e curve isorischio	9
4. Modelli di calcolo del rischio	15
5. Modello utilizzato per il calcolo delle curve di isorischio	20
6. Curve di isorischio per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze	26
7. Confronto tra curve di isorischio e piani di rischio	30
Bibliografia.....	33

1. Introduzione: le motivazioni di questo studio

E' ormai ben noto che gli incidenti aerei si concentrano in prossimità degli aeroporti, con un evidente rischio per la popolazione che risiede o soggiorna nel territorio adiacente agli stessi aeroporti. Esiste una probabilità ben definita a livello statistico che avvengano incidenti aerei, ed il singolo incidente aereo provoca tipicamente la parziale o totale distruzione di un'area sul territorio, con un rischio per la vita della popolazione che la frequenta. L'unica misura possibile per tutelare la popolazione è definire una zona di rispetto attorno agli aeroporti, per limitare o eliminare la presenza di esseri umani laddove la probabilità di incidenti è più alta. Questo tipo di normativa non è definita dalle authorities dell'aviazione a livello internazionale (ICAO, EASA), perchè non è un problema legato alla sicurezza del volo ma riguarda misure specifiche di salvaguardia della popolazione al suolo che devono adottare in modo autonomo i singoli stati.

La legge italiana attribuisce all'ENAC il compito di definire i piani di salvaguardia per la popolazione attorno agli aeroporti attraverso il Codice della Navigazione, che dal 2006 contiene due diversi articoli al riguardo. L'**art. 707** stabilisce che: *“Nelle direzioni di atterraggio e decollo possono essere autorizzate opere o attività compatibili con gli appositi piani di rischio, che i comuni territorialmente competenti adottano, anche sulla base delle eventuali direttive regionali, nel rispetto del regolamento dell'ENAC sulla costruzione e gestione degli aeroporti, di attuazione dell'Annesso XIV ICAO”*. L'**art. 715** invece afferma: *“Al fine di ridurre il rischio derivante dalle attività aeronautiche alle comunità presenti sul territorio limitrofo agli aeroporti, l'ENAC individua gli aeroporti per i quali effettuare la valutazione dell'impatto di rischio. Nell'esercizio delle proprie funzioni di pianificazione e gestione del territorio, i comuni interessati tengono conto della valutazione di cui al primo comma.”*

L'articolo 707 sopra citato conduce alla definizione di Piani di Rischio basati su zone di tutela con forma geometrica, indipendentemente dalla dimensione della pista di volo e dal volume di traffico aereo. La figura successiva riporta i Piani di Rischio definiti per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze [1]. Il Regolamento per la costruzione e l'esercizio degli aeroporti dell'ENAC stabilisce quali tipologie di edificazioni e attività siano ammissibili a livello di regolamento urbanistico nelle zone di tutela di tipo A, B e C e D.

Va notato che le aree di tutela di forma geometrica dei Piani di Rischio non sono basate su un approccio quantitativo al calcolo del rischio individuale, ma solo qualitativo [2]. Il rischio individuale può essere invece calcolato in modo quantitativo seguendo la metodologia definita dall'ENAC in relazione all'art. 715. Questa metodologia, sviluppata in collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, è basata sui modelli anglo-irlandesi ed olandesi che permettono di calcolare le cosiddette curve di isorischio [2,3]. Le zone di tutela così definite hanno una forma non più geometrica, che segue le rotte degli aerei in atterraggio e in decollo e che dipende dal volume di traffico dell'aeroporto. Al momento dell'introduzione della norma, nel 2010, l'ENAC ha stabilito di effettuare il calcolo *“soprattutto intorno ai grandi aeroporti e nei casi in cui l'aeroporto stesso sia inserito in contesti densamente urbanizzati... ... in ragione dei limiti di affidabilità del modello, sono stati individuati i criteri di selezione di tali aeroporti che fanno riferimento a: volume di traffico di 50000 movimenti/anno (attuale o previsto nel Piano di Sviluppo Aeroportuale); ubicazione in tessuti urbani sensibili e fortemente urbanizzati nelle vicinanze aeroportuali.”* (Ref. 2, pag.2 e 9). In tutte le tipologie di aree di tutela, l'ENAC esclude la presenza dei cosiddetti *“obiettivi vulnerabili e sensibili”*, a causa dell'elevato numero di fatalità che si avrebbero in conseguenza di un incidente aereo: *“Nelle aree ad alta tutela, interna ed intermedia ... va evitata la realizzazione di edificazioni assimilabili a scuole, ospedali, centri ad elevato affollamento, ecc. ”*

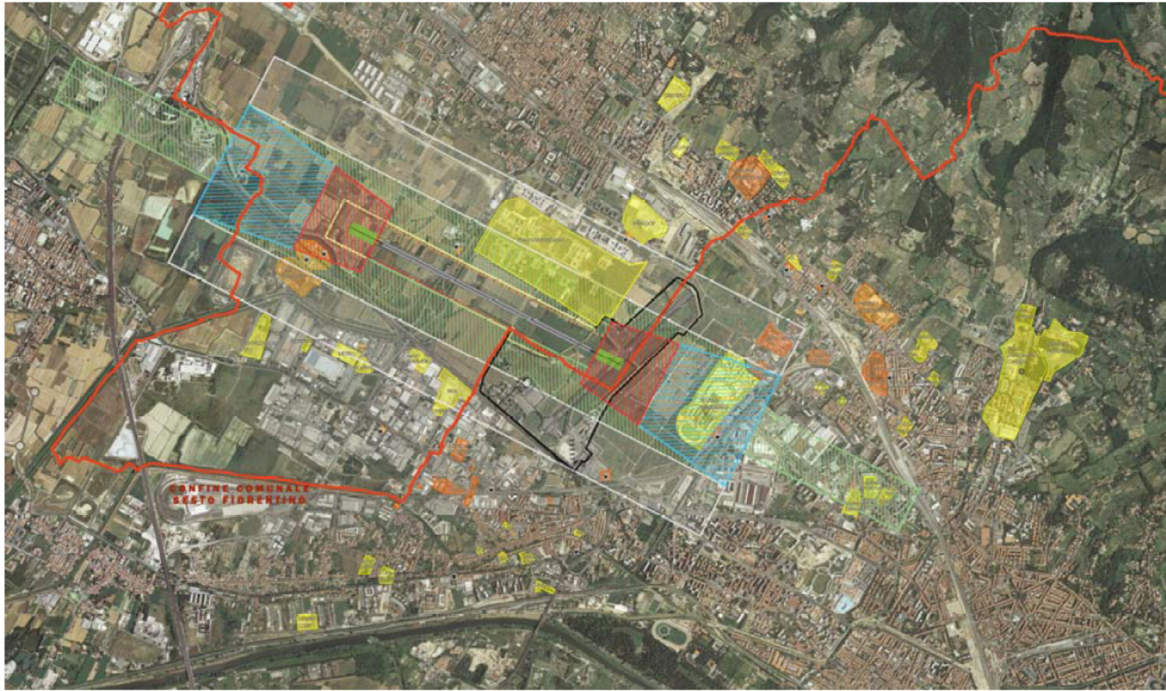


Fig.8 Piani di Rischio stato attuale 12/30

Fig. 1.1. Piani di rischio per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze, nella sua versione iniziale di lunghezza pari a 2000 m. Le aree evidenziate in giallo od arancione sono i cosiddetti obiettivi vulnerabili o sensibili. L'immagine è stata estratta dal documento di valutazione ENAC allegato alla Valutazione Ambientale Strategica (VAS) [1].

E' importante notare che, grazie alla modellizzazione statistica delle curve di isorischio che l'ENAC può effettuare, l'impatto ambientale costituito dal rischio per la vita della popolazione terza in caso di incidenti aerei può essere previsto in modo quantitativo alla stregua di altre tipologie di impatto ambientale, quali l'inquinamento acustico e l'inquinamento atmosferico. Tale rischio sarebbe pertanto valutabile in occasione dei progetti di ampliamento o di modifica delle infrastrutture aeroportuali, secondo le prescrizioni del Codice dell'Ambiente per le Valutazioni di Impatto Ambientali (VIA).

Veniamo adesso al problema specifico del progetto di riqualificazione dell'aeroporto di Firenze. Dato che la documentazione dello Studio di Impatto Ambientale (SIA) allegata al Masterplan non conteneva nessuna analisi quantitativa del rischio secondo l'art. 715, nè prevedeva alcuna misura di tutela per le urbanizzazioni già esistenti, all'interno delle osservazioni dell'Università di Firenze si è richiesto che nell'ambito della procedura di VIA venisse effettuato: a) il calcolo delle curve di isorischio per la pista di progetto; b) la valutazione dell'impatto del rischio sulle urbanizzazioni ed attività già esistenti, tra cui il Polo Scientifico dell'Università di Firenze e la Scuola Marescialli Carabinieri [4] che si configurano certamente come *obiettivi vulnerabili e sensibili*.

L'ENAC, che oltre ad essere l'istituzione statale competente in materia è anche il proponente del progetto aeroportuale, ha però escluso a più riprese sia la necessità che la possibilità di effettuare tale calcolo e tale valutazione. Ad esempio, riguardo alla compatibilità delle urbanizzazioni esistenti con i Piani di Rischio, la documentazione ENAC presentata a Settembre 2015 [5] afferma che: *“La competenza relativa alla approvazione dei Piani di Rischio risulta attribuita ad ENAC, che ha già verificato il Master Plan (inclusi i Piani di Rischio associati alla nuova pista di volo) e ritenuto lo stesso approvabile in linea tecnica. Ulteriori verifiche di maggior dettaglio potranno, comunque, essere effettuate nell'ambito del successivo*

procedimento di conformità urbanistica.” Riguardo invece alla possibilità di effettuare il calcolo delle zone di tutela secondo l’art. 715, la documentazione presentata nel Novembre 2015 [6] afferma che: *“Il Master Plan dell’aeroporto di Firenze prevede un numero di movimenti, all’orizzonte temporale dello scenario considerato, inferiore rispetto ai 50000 mov/anno. Tale soglia di traffico è stata fissata in quanto al di sotto della stessa i risultati del modello perdono di significatività e rappresentatività dell’evento considerato.”* Va notato al proposito che il numero di movimenti previsto per l’aeroporto di Firenze è comunque circa 48500 [7], quindi appena il 3% al di sotto del limite formale stabilito dall’ENAC.

Appare chiaro come possa essere assolutamente opportuno integrare quanto fino ad ora predisposto sul tema in oggetto, anche alla luce della normativa dell’ENAC stesso che considera necessaria la valutazione dell’impatto del rischio per obiettivi vulnerabili e sensibili. Si è pertanto studiata la possibilità di stimare in modo autonomo le zone di tutela previste dall’art. 715 Cod. Nav. Per far questo si sono utilizzati i modelli di calcolo del rischio anglo-irlandese ed olandese utilizzati dall’ENAC per stimare la forma delle curve di isorischio. Ciò è stato possibile attraverso le pubblicazioni scientifiche del gruppo ENAC-la Sapienza [3] e le pubblicazioni anglo-irlandesi ed olandesi, che sono liberamente accessibili [8-10]. Lo studio dei modelli di calcolo ha mostrato due aspetti generali di grande importanza per il caso specifico dell’aeroporto di Firenze. Il primo aspetto è che nei modelli non sembrano esistere limitazioni formali al numero di movimenti aerei per poter effettuare un calcolo rappresentativo del reale rischio. Il secondo aspetto è che tale calcolo può essere compiuto non solo nelle aree prima e dopo la pista di volo, così come previsto dalla policy dell’ENAC di attuazione dell’art.715, ma anche nelle aree laterali.

Come si discuterà nella Sez. 5, nell’analisi fatta non è stato possibile ricostruire le esatte curve di isorischio calcolabili dall’ENAC perchè alcuni parametri del modello ENAC (il tasso di incidenti per tipologia di aeromobile) non sono noti. Inoltre, il calcolo non tiene conto di alcuni fattori (curvatura delle rotte di decollo, aviazione generale) che potrebbero determinare una variazione delle curve di isorischio. Lo studio fatto non è pertanto conclusivo, e le curve di isorischio approssimate calcolate non possono essere utilizzate per una stima quantitativa del rischio, nè per la pista di progetto nè per la pista attuale dell’aeroporto di Firenze. Tale stima potrà essere fatta soltanto con le curve ufficiali che l’ENAC potrà calcolare. Nonostante tale limitazione, dall’analisi che si è compiuta emergono importanti indicazioni sull’impatto delle curve di isorischio calcolate per la pista di progetto su strutture ad elevata antropizzazione già presenti sul territorio, quali la Scuola Marescialli Carabinieri, l’area autostradale Firenze Nord ed il Polo Scientifico e Tecnologico dell’Università di Firenze. Dato che il rischio calcolato secondo questo tipo di modelli ha un reale valore statistico, e dato che si tratta di un rischio per la salute umana, appare chiara la necessità di valutare l’impatto del rischio di incidenti aerei prima della conclusione della procedura di VIA, così come prescritto dal Codice dell’Ambiente.

2. Aeroporti ed incidenti aerei, normativa internazionale

Per motivi storici, la grande maggioranza degli aeroporti a livello globale è posta in vicinanza di città o comunque di aree urbanizzate. E' anche ormai ben noto che gli incidenti aerei si concentrano in prossimità degli aeroporti, con un evidente rischio per la popolazione che risiede o soggiorna nel territorio adiacente agli stessi aeroporti (vedi Fi. 2.1). Come mostra lo schema in Fig.2.2, gli incidenti avvengono più frequentemente sia in prossimità di entrambe le estremità di una pista di volo che lungo i lati della pista. E' stato osservato che, nonostante la probabilità che un singolo aereo subisca un incidente sia in diminuzione a causa del miglioramento della tecnologia e delle norme di sicurezza, l'aumento del traffico aereo sta mantenendo costante, o addirittura in leggera crescita, il numero annuo di incidenti aerei.

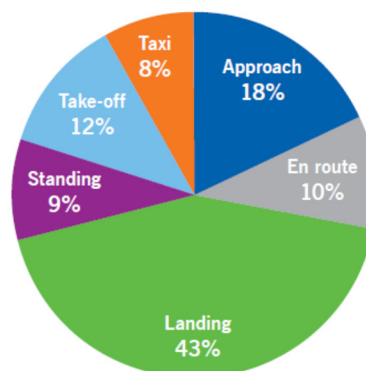


Figura 2.1 Fase di volo per i 103 incidenti aerei registrati a livello mondiale nel 2013. Dati tratti dall'ICAO Safety Report 2014.

Un incidente aereo provoca tipicamente la parziale o totale distruzione di un'area sul territorio, con un chiaro rischio per la vita della popolazione che la frequenta. L'unica misura possibile per tutelare la popolazione è definire zone di rispetto attorno agli aeroporti e limitare o eliminare la presenza di esseri umani laddove la probabilità di incidenti è più alta.

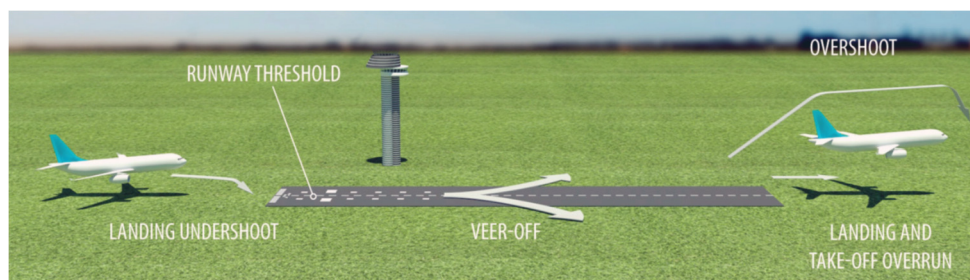
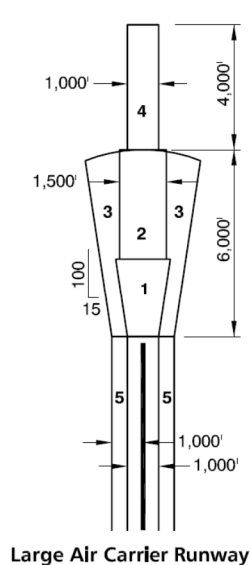


Figura 2.2 Tipologia di incidenti durante le fasi di atterraggio e decollo. Immagine tratta dal National Aerospace Laboratory, www.nlr.nl.

Una delle prime normative ad essere introdotte è stata quella dello Stato della California [11]. Questa normativa definiva zone geometriche disposte intorno alla pista, nelle quali vi è una densità massima di popolazione tollerata. In Fig. 2.3 è riportato un esempio per piste aperte all'aviazione civile. La forma di tali zone è stata definita in seguito allo studio statistico di un elevato numero di incidenti aerei avvenuti a livello globale. Queste zone di forma geometrica non tengono conto di alcuni fattori essenziali quali le traiettorie effettivamente seguite dagli aerei durante il decollo e l'atterraggio, il numero effettivo di movimenti aerei, l'entità della distruzione associata alle diverse tipologie di aeromobili. Esse non possono essere pertanto associate ad una stima quantitativa del rischio per gli individui.



- Legend**
1. Runway Protection Zone (Clear Zone)
 2. Inner Approach/Departure Zone (Accident Potential Zone I)
 3. Inner Turning Zone
 4. Outer Approach/Departure Zone (Accident Potential Zone II)
 5. Sideline Zone

Current Setting	MAXIMUM NONRESIDENTIAL INTENSITY					
	Safety Compatibility Zones					
	(1) Runway Protection Zone	(2) Inner Approach/Departure Zone	(3) Inner Turning Zone	(4) Outer Approach/Departure Zone	(5) Sideline Zone	(6) Traffic Pattern Zone
<i>Average number of people per gross acre^a</i>						
Rural Farmland / Open Space (Minimal Development)	0 ^b	10 – 25	60 – 80	60 – 80	80 – 100	150
Rural / Suburban (Mostly to Partially Undeveloped)	0 ^b	25 – 40	60 – 80	60 – 80	80 – 100	150
Urban (Heavily Developed)	0 ^b	40 – 60	80 – 100	80 – 100	100 – 150	No limit ^c

Fig. 2.3 Esempio delle zone di protezione intorno ad una pista aeroportuale nella normativa californiana, tratto da [11]. La tabella riporta la massima densità di popolazione ammessa.

La normativa più avanzata è forse quella del Regno Unito, che è stata definita alla fine degli anni '90 in seguito ad una serie di analisi statistiche sugli incidenti storici, correlazioni dettagliata tra tipologia di aeromobile ed entità del danno, valutazioni attuariali e sondaggi tra la popolazione. Al termine di un lungo periodo di studio sono state definite le cosiddette Public Safety Zones, definite da curve di isorischio per i singoli individui calcolate in modo rigoroso tramite un modello matematico. Le curve che delimitano le varie zone corrispondono ad una probabilità nel corso di un anno di subire le conseguenze di un incidente mortale pari a 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} , per un individuo che risiede costantemente in quella zona.

La normativa stabilisce inoltre quali tipi di attività e quali densità massime di persone siano consentite nelle varie zone. In particolare, in tutte le normative viene esclusa la presenza in prossimità di una pista aeroportuale di centri ad elevata concentrazione, quali scuole, ospedali, centri congressuali, etc. [2]. Il motivo è che in tali casi un singolo incidente aereo potrebbe provocare la morte simultanea di un elevato numero di persone. Viene inoltre esclusa la presenza di attività che in caso di incidente potrebbero amplificare il rischio per la popolazione, come ad esempio serbatoi di liquidi infiammabili, industrie chimiche, etc.

Va notato che la definizione delle Public Safety Zones in UK è stata in un primo momento compiuta solo per i 5 principali aeroporti in termini di volume di traffico aereo (Heathrow, Gatwick, Manchester, Birmingham, Leeds Bradford), ma ad oggi è stata estesa a circa 35 aeroporti di dimensione medio-grande aperti al traffico commerciale [12].

Individual Risk Contours at Gatwick Airport

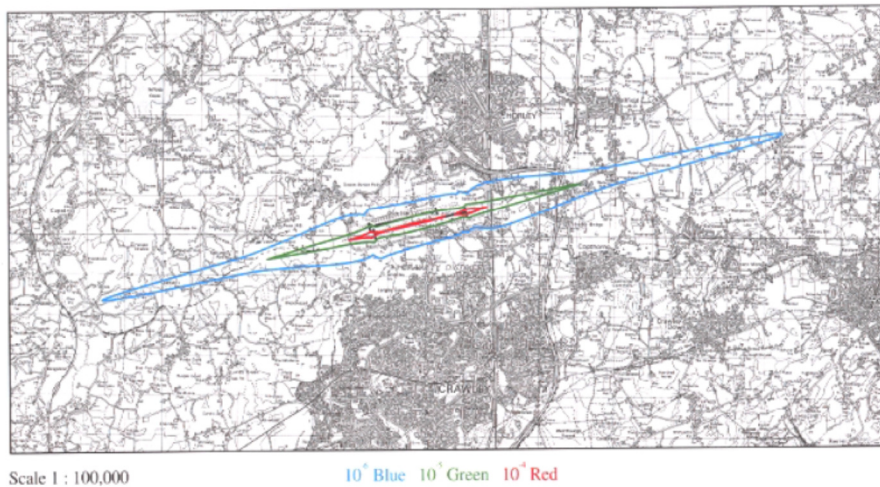


Figura 2.4. Curve di isorischio calcolate per l'aeroporto di London Gatwick nel 1997: 10^{-6} in blu; 10^{-5} in verde; 10^{-4} in rosso. Immagine tratta da [8].

Modelli di calcolo di questo tipo e corrispondenti zone delimitate da curve di isorischio sono state adottate anche da altri paesi. L'esempio più importante è l'Olanda, che ha la quasi totalità del traffico aereo concentrato nell'aeroporto di Schiphol, e che ha sviluppato un modello matematico analogo a quello inglese [10]. Altri paesi, come ad esempio la Germania e la Svizzera, non sembrano aver adottato una normativa che richieda un calcolo capillare del rischio terzi per tutti gli aeroporti aperti al traffico commerciale. Il calcolo delle curve di isorischio è però stato compiuto in occasione di progetti di modifica degli aeroporti, riguardanti sia la costruzione di nuove piste di volo che un aumento programmato del volume di traffico. Esempi notevoli al riguardo sono i calcoli delle zone di rischio per gli aeroporti di Dusseldorf, Frankfurt e Geneva [13].

Per quanto riguarda gli USA va notato che, sebbene la normativa corrente non preveda la creazione di PSZ delimitate da curve di isorischio, sono stati recentemente sviluppati dei modelli di calcolo in principio molto accurati per determinare il rischio di incidenti in prossimità delle piste aeroportuali [14].

3. Normativa nazionale: piani di rischio e curve isorischio

La legge italiana attribuisce all'ENAC il compito di valutare il rischio per la popolazione del territorio in prossimità degli aeroporti in seguito agli incidenti aerei. Il Codice della Navigazione è stato appositamente modificato nel 2006 (DL 151/2006) per attribuire all'ENAC le competenze di valutazione in questa materia. In dettaglio, è stato modificato l'art. 707, che trattava sino ad allora solo il tema della sicurezza del volo, ed è stato aggiunto l'art. 715. Come si discuterà nel seguito, i due articoli riguardano due diversi approcci alla valutazione del rischio: il primo è analogo all'approccio delle zone di rischio geometriche della normativa californiana, mentre il secondo è sostanzialmente identico all'approccio delle PSZ inglesi.

Riguardo al primo approccio, la modifica all'art.707 definisce i cosiddetti *piani di rischio*:

Art. 707 - Determinazione delle zone soggette a limitazioni

Al fine di garantire la sicurezza della navigazione aerea, l'ENAC individua le zone da sottoporre a vincolo Nelle aree limitrofe agli aeroporti e stabilisce le limitazioni relative agli ostacoli per la navigazione aerea ed ai potenziali pericoli per la stessa, conformemente alla normativa tecnica internazionale. Gli enti locali, nell'esercizio delle proprie competenze in ordine alla programmazione ed al governo del territorio, adeguano i propri strumenti di pianificazione alle prescrizioni dell'ENAC.

Il personale incaricato dall'ENAC di eseguire i rilievi e di collocare i segnali può accedere nella proprietà privata, richiedendo, nel caso di opposizione dei privati, l'assistenza della forza pubblica.

Le zone di cui al primo comma e le relative limitazioni sono indicate dall'ENAC su apposite mappe pubblicate mediante deposito nell'ufficio del comune interessato. Dell'avvenuto deposito è data notizia, entro dieci giorni, mediante avviso inserito nel Bollettino Ufficiale della regione interessata. Il comune interessato provvede inoltre a darne pubblicità ai singoli soggetti interessati, nei modi ritenuti idonei.

Nelle direzioni di atterraggio e decollo possono essere autorizzate opere o attività compatibili con gli appositi piani di rischio, che i comuni territorialmente competenti adottano, anche sulla base delle eventuali direttive regionali, nel rispetto del regolamento dell'ENAC sulla costruzione e gestione degli aeroporti, di attuazione dell'Annesso XIV ICAO.

Per gli aeroporti militari le funzioni di cui al presente articolo sono esercitate dal Ministero della difesa e disciplinate con decreto del Ministro della difesa.

La definizione delle zone geometriche alla base dei Piani di Rischio è contenuta nel Regolamento per la costruzione e l'esercizio degli aeroporti dell'ENAC [15]. Le Fig. 3.1 e 3.2 riportano le definizioni di tale zone per piste aeroportuali di classe 3 e 4. Va notato come la prima definizione delle aree di tutela, introdotta nel 2008, riguardava solo le aree oltre le due estremità delle piste, e non le aree laterali (Fig. 3.1). Le zone di tutela laterali alla pista (Fig. 3.2) sono state introdotte solo in un secondo momento, nel 2011, seguendo la raccomandazione dell'ICAO di valutare anche il rischio legato agli incidenti aerei che avvengono lateralmente alle piste di volo [16].

Il Regolamento dell'ENAC, nello spirito dell'art. 707, associa alle varie aree diverse tipologie di opere e attività compatibili a livello di regolamento urbanistico. Si riporta per intero il par. 6.6 del Capitolo 9 del Regolamento ENAC.

Prescrizioni per la redazione del piano di rischio

Fermo restando il mantenimento delle edificazioni e delle attività esistenti sul territorio, per i nuovi insediamenti sono applicabili i seguenti indirizzi, in termini di contenimento del carico antropico e di individuazione delle attività compatibili, che i Comuni articolano e dettagliano nei piani di rischio in coerenza con la propria regolamentazione urbanistico – edilizia.

Zona di tutela A: è da limitare al massimo il carico antropico. In tale zona non vanno quindi previste nuove edificazioni residenziali. Possono essere previste attività non residenziali, con indici di edificabilità bassi, che comportano la permanenza discontinua di un numero limitato di persone.

Zona di tutela B: possono essere previsti una modesta funzione residenziale, con indici di edificabilità bassi, e attività non residenziali, con indici di edificabilità medi, che comportano la permanenza di un numero limitato di persone.

Zona di tutela C: possono essere previsti un ragionevole incremento della funzione residenziale, con indici di edificabilità medi, e nuove attività non residenziali.

Zona di tutela D: in tale zona, caratterizzata da un livello minimo di tutela e finalizzata a garantire uno sviluppo del territorio in maniera opportuna e coordinata con l'operatività aeroportuale, va evitata la realizzazione di interventi puntuali ad elevato affollamento, quali centri commerciali, congressuali e sportivi a forte concentrazione, edilizia intensiva, ecc...

Nelle zone di tutela A, B e C vanno evitati:

- insediamenti ad elevato affollamento, quali centri commerciali, congressuali e sportivi a forte concentrazione, edilizia intensiva, ecc... ;
- costruzioni di scuole, ospedali e, in generale, obiettivi sensibili;
- attività che possono creare pericolo di incendio, esplosione e danno ambientale.

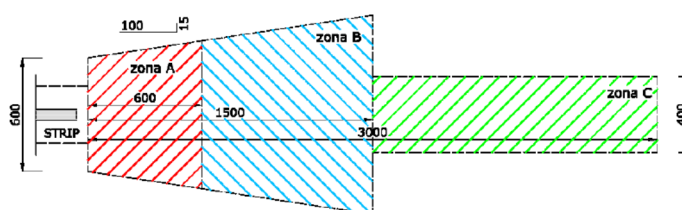


Figura 3.1. Definizione della dimensione e posizionamento delle zone di tutela in testata pista (in figura, strip) di un aeroporto di classe 3 o 4, dal Regolamento dell'ENAC, emendamento 5 del 2008.

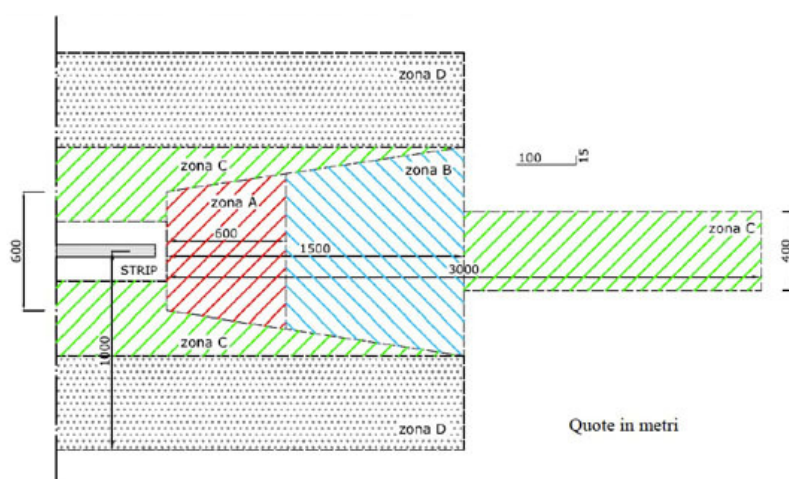


Figura 3.2. Definizione della dimensione e posizionamento delle zone di rischio attorno alla pista (in figura, strip) di un aeroporto di classe 3 o 4, dal Regolamento dell'ENAC, emendamento 8 del 2011.

L'art. 715 Cod. Nav., anch'esso introdotto dal DL 151/2006, è molto essenziale e si limita ad attribuire all'ENAC il compito di valutare l'impatto del rischio di incidenti aerei sulla popolazione al suolo:

Art. 715 - Valutazione di rischio delle attività aeronautiche

Al fine di ridurre il rischio derivante dalle attività aeronautiche alle comunità presenti sul territorio limitrofo agli aeroporti, l'ENAC individua gli aeroporti per i quali effettuare la valutazione dell'impatto di rischio. Nell'esercizio delle proprie funzioni di pianificazione e gestione del territorio, i comuni interessati tengono conto della valutazione di cui al primo comma.

La policy di attuazione dell'art. 715 è stata resa pubblica dall'ENAC solo nel Gennaio 2010 con una apposita circolare [2]. La circolare spiega che le zone di tutela sono state definite con una metodologia analoga a quelle adottate in Irlanda ed in Olanda e descritte nel documento ICAO "Airport Planning Manual – Doc 9184/part 2". Il calcolo del rischio individuale viene fatto tramite un modello matematico sviluppato in collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", che si descriverà in dettaglio nella Sez. 4 [3]. Le zone di tutela definite mediante il modello matematico hanno una forma non più geometrica e che segue le rotte degli aerei in atterraggio e in decollo. Essendo la forma di tali zone calcolate a partire dai dati storici degli incidenti aerei, esse rappresentano molto meglio delle zone di tipo geometrico il reale rischio di incidenti (ref.2, pag. 8): *i piani di rischio sono caratterizzati da un approccio di tipo "qualitativo" mentre il risk assessment è di tipo "quantitativo", in quanto ogni studio è basato sui dati specifici dell'aeroporto in esame (volumi di traffico, rotte seguite, tipologie di aeromobili, ...)*

Nell'policy di attuazione dell'art.715, l'ENAC ha definito anche i criteri di selezione degli aeroporti per i quali effettuare il calcolo (ref.2, pag 2 e pag. 9):

"I livelli di rischio vanno quindi identificati soprattutto intorno ai grandi aeroporti e nei casi in cui l'aeroporto stesso sia inserito in contesti densamente urbanizzati.

... in ragione dei limiti di affidabilità del modello, sono stati individuati i criteri di selezione di tali aeroporti che fanno riferimento a:

- *volume di traffico di 50000 movimenti/anno (attuale o previsto nel Piano di Sviluppo Aeroportuale)*
- *ubicazione in tessuti urbani sensibili e fortemente urbanizzati nelle vicinanze aeroportuali."*

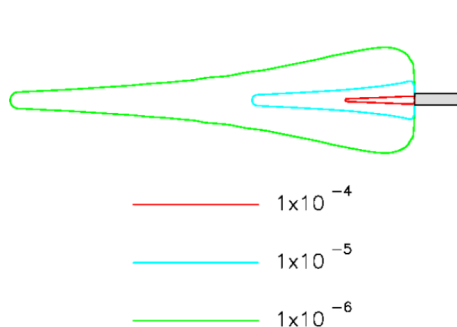


Figura 3.3. Forma qualitativa delle zone di tutela delimitate dalle curve di isorischio, dal documento ENAC sulla policy di attuazione dell'art. 715 [2]. Le aree racchiuse dalle tre curve in rosso, verde e blu sono le cosiddette area ad alta tutela, area interna ed area intermedia.

La circolare dell'ENAC definisce tre tipi di aree di tutela, delimitate dalle cosiddette curve di isorischio, cioè le curve che uniscono i punti per cui il rischio calcolato assume alcuni valori di riferimento. Tali valori di riferimento sono 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} , come mostrato in Fig. 3.3. Il rischio si riferisce alla probabilità annuale di

subire gli effetti di un incidente per un soggetto che soggiorni in una particolare area per 24 ore al giorno e per 365 giorni l'anno. Le aree di tutela e le relative misure da prendersi sono le seguenti:

Area ad alta tutela: è l'area interna alla curva di isorischio pari a 10^{-4} .

Normalmente l'area all'interno della curva di 1×10^{-4} , in cui è maggiore il livello di esposizione al rischio, ricade all'interno dell'aeroporto. Qualora invece essa ricada esternamente al sedime aeroportuale deve evitarsi la presenza continua di persone al suo interno. In tale ottica andrà valutata l'opportunità di definire piani contenenti programmi di demolizione e/o misure di regressione rispetto alle opere esistenti. I piani dovranno essere principalmente finalizzati a garantire un decremento dell'eventuale carico antropico presente in tale area di tutela.

Area interna: è l'area compresa tra le curve 10^{-4} e 10^{-5} .

Lo stato del territorio ricadente in tale area deve essere gestito al fine di garantirne un controllo tramite un congelamento della situazione esistente; in casi in cui venga evidenziato un considerevole carico antropico dell'area possono essere valutate misure di contenimento e riconversione delle opere esistenti con lo scopo di diminuire il carico stesso. Per quanto riguarda la pianificazione dello sviluppo del territorio e quindi la realizzazione di nuove opere e/o attività, gli strumenti urbanistici vanno in linea generale adattati per non consentire nuove realizzazioni che comportino l'aumento di carico antropico.

Area intermedia: è l'area compresa tra le curve 10^{-5} e 10^{-6} .

Le opere esistenti non sono oggetto di intervento e possono essere previste misure di contenimento. Per quanto riguarda la realizzazione di nuova funzione non residenziale la stessa deve essere caratterizzata da tipologie costruttive e destinazioni d'uso che prevedono la presenza di un modesto numero di persone. Quanto sopra va comunque sempre verificato in rapporto ai livelli di carico antropico già presenti allo stato attuale.

Area esterna: è l'area al di fuori della curva 10^{-6} .

Tale area non è soggetta a particolari previsioni connesse con la presenza di attività aeronautica.

Va inoltre notata la policy da seguire per gli obiettivi vulnerabili e sensibili:

Nelle aree ad alta tutela, interna ed intermedia andrà inoltre posta particolare attenzione alle attività che, se coinvolte da un incidente aereo, possono amplificare le conseguenze di un eventuale incidente e creare danno per l'ambiente (depositi di carburante fuori terra, industrie chimiche, ...).

In tali aree va evitata la realizzazione di edificazioni assimilabili a scuole, ospedali, centri ad elevato affollamento, ecc..

Per le infrastrutture viarie, nelle aree "alta tutela" ed "interna" o in prossimità delle stesse, vanno evitate opere che possano comportare congestioni del traffico e quindi significativo aumento del carico antropico (quali ad esempio caselli autostradali).

E' importante a questo punto confrontare le prescrizioni previste dall'art. 707 con quelle relative all'art.715, dato che entrambe le analisi insistono sullo stesso territorio limitrofo agli aeroporti. La policy di attuazione dell'art. 715 prevede che si compia un'**integrazione** delle prescrizioni legate alle aree di tutela appena viste con quelle dei Piani di rischio visti in precedenza. Il documento ENAC [2] afferma che "*la policy di attuazione dell'art.715 tiene conto dei contenuti delle linee guida per la redazione dei piani di rischio e prevede misure di tutela simili.*" E' in effetti possibile osservare come le misure di tutela previste per le aree ad alta tutela, interna ed intermedia siano rispettivamente simili a quelle previste per le aree di tipo A, B e C. E' però importante notare anche come le misure di tutela legate all'art.715 siano qualitativamente più forti, in quanto prevedono *anche programmi di demolizione e/o misure di regressione rispetto alle*

opere esistenti (area ad alta tutela) oppure *misure di contenimento e riconversione delle opere esistenti* (area interna). Appare quindi chiaro che per le aree di tutela associate all'art. 715 è prevista una funzione che va al di là del semplice strumento per la redazione dei regolamenti urbanistici associato invece all'art. 707. Non è pertanto assolutamente chiaro come debbano essere integrate le prescrizioni degli art. 707 e 715.

Si noti inoltre come le aree geometriche dei piani di rischio e le aree di tutela delimitate dalle curve di isorischio abbiano in generale forme diverse. Sorgono pertanto due problematiche:

1) La prima problematica riguarda proprio l'integrazione degli art. 707 e 715. Soltanto le aree di tutela delimitate dalle curve di isorischio sono basate su un *risk assessment di tipo quantitativo*. Sarebbe pertanto logico aspettarsi che in presenza del calcolo secondo l'art.715 permanessero soltanto tali aree di tutela, eliminando le aree di tutela geometriche, per le quali l'assessment è soltanto qualitativo. In altre parole, sarebbe logico attendersi che i Piani di Rischio dell'ENAC da recepire a livello urbanistico fossero costruiti a partire dalle curve di isorischio e non dalle zone geometriche.

2) La seconda problematica è più generale, ed è relativa alla capacità delle aree geometriche di descrivere opportunamente il rischio per la popolazione al suolo, in assenza del calcolo delle aree di tutela relative all'art.715.

Si tornerà a discutere entrambe queste problematiche nella Sez. 7, dopo aver calcolato le curve di isorischio per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze.

Va inoltre notato che il modello di calcolo delle curve di isorischio sviluppato dall'ENAC si limiti ad investigare le aree oltre le due estremità di una pista di volo, senza considerare le aree laterali alla pista. Si ha evidenza di ciò ad esempio dalle curve di isorischio mostrate in Fig. 3.3. Questa scelta potrebbe imputarsi al fatto che il modello di calcolo è stato sviluppato prima del 2011, anno in cui è stata introdotta dall'ENAC la necessità di valutare il rischio anche nelle aree laterali. Non si comprenderebbe altrimenti perchè i Piani di rischio prevedono ampie zone di tutela nelle aree laterali, mentre le curve di isorischio le escludono completamente. Si affronterà nuovamente questa problematica nelle Sez. 4 e 5.

Un punto che è molto importante da notare per il caso specifico dell'aeroporto di Firenze è quello relativo alla preesistenza o meno delle attività o urbanizzazioni già presenti sul territorio. Si è già visto come riguardo ai Piani di rischio dell'art.707 il Regolamento affermi *"Fermo restando il mantenimento delle edificazioni e delle attività esistenti sul territorio, per i nuovi insediamenti si applicano i seguenti indirizzi, in termini di contenimento del carico antropico e di individuazione delle attività compatibili, che i Comuni articolano e dettagliano nei piani di rischio in coerenza con la propria regolamentazione urbanistico – edilizia."*

Il documento ENAC sulla policy di attuazione dell'art. 715 afferma invece: *"Fermo restando il congelamento delle situazioni esistenti, le misure di tutela, si applicano alle nuove realizzazioni ed alle nuove attività e sono finalizzate a garantire un adeguato ed uniforme livello di tutela all'interno delle aree comprese nelle curve di isorischio. La tutela del territorio ricadente all'interno delle curve di iso-rischio si espleta tramite la limitazione del carico antropico e l'individuazione delle attività non compatibili."*

Va ricordato che queste norme sono state applicate per la prima volta nel 2008 su tutto il territorio nazionale, interessando quindi tutti gli aeroporti già esistenti sul territorio. E' evidente che per una pista aeroportuale già esistente le *nuove realizzazioni ed attività* siano da intendersi solo come possibili nuove urbanizzazioni o attività estranee a quelle aeroportuali. Come deve essere invece interpretata la norma nel caso di realizzazione di una nuova pista aeroportuale, che è il caso dell'aeroporto di Firenze – primo caso a livello nazionale dal 2008? La problematica è stata apparentemente chiarita dall'ENAC già nel 2012, in occasione della presentazione di un documento di valutazione delle pre-proposte progettuali per l'aeroporto di Firenze all'interno della procedura di VAS [1]. Le affermazioni in proposito all'applicazione dei

Piani di Rischio per una nuova pista aeroportuale sono molto chiare: *Sul tema va premesso che nell'applicazione dei Piani di Rischio la congruenza tra gli insediamenti presenti sul territorio e l'impianto aeroportuale costituisce requisito vincolante nel caso delle nuove opere; la situazione di non rispondenza è ammessa solo in virtù della preesistenza dello stato di fatto rispetto alle nove disposizioni normative. Per quanto sopra i piani di rischio associati alla nuova configurazione di pista non risultano conformi al Regolamento ENAC in quanto: Il territorio interessato è sede di urbanizzazioni incompatibili; ...*

Si comprende quindi che la valutazione dell'incompatibilità delle nuove realizzazioni deve essere compiuta qualunque sia la variazione rispetto allo stato di fatto. Tra le nuove realizzazioni vanno pertanto incluse le nuove piste aeroportuali, e va compiuta una valutazione dei Piani di Rischio (o delle aree di tutela secondo l'art. 715, se calcolate) in relazione alle attività o urbanizzazioni già presenti sul territorio.

4. Modelli di calcolo del rischio

In questa sezione si discutono gli ingredienti principali del modello di calcolo delle curve di isorischio utilizzato dall'ENAC, anche in relazione ai modelli disponibili a livello internazionale. Come si è già discusso, la sorgente principale di informazioni riguardo al modello di calcolo dell'ENAC è il documento sulla policy di attuazione dell'art. 715 Cod. Nav. [2]. In quel documento viene discussa la struttura generale del modello, che si è riportata in Fig. 4.1, e viene discusso come tale struttura sia analoga a quella dei modelli anglo-irlandesi ed olandesi descritti dall'ICAO nell'Airport Planning Manual.

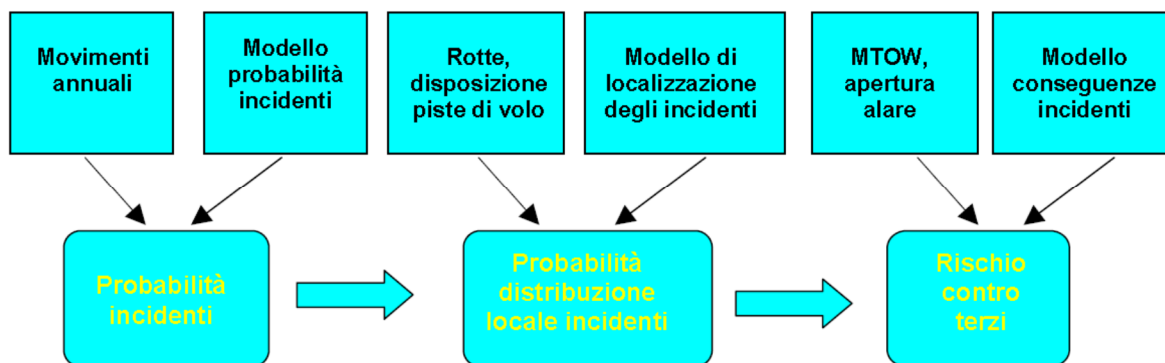


Fig. 4.1 Struttura del modello di calcolo delle curve di isorischio utilizzato dall'ENAC. L'immagine è estratta dal documento sulla policy di attuazione dell'art. 715 Cod. Nav. [2].

Si riportano nel seguito alcuni estratti che fanno comprendere la struttura del modello di calcolo.

Come si vede il modello è composto dai tre sottomodelli:

- modello probabilistico degli incidenti,
- modello di localizzazione degli incidenti,
- modello per le conseguenze degli incidenti.

Modello probabilistico degli incidenti

In questa fase si provvede a separare la probabilità d'incidente, desunta da archivi storici, per tipo di aeromobili e per fasi di volo. Questa serie di dati va scelta ed adattata in funzione dell'aeroporto in esame in quanto è strettamente correlata con l'articolazione e tipologia del traffico (ripartizione dei movimenti per tipo di aeromobile). Anche la nazionalità del vettore per aree geografiche interviene nella determinazione del risultato. I database di riferimento usati per i tassi d'incidentalità sono stati quelli di ICAO, FAA, Airsafe, ANSV.

Modello di localizzazione degli incidenti

Tale modello definisce la distribuzione geografica degli incidenti relativamente alle piste e ai sentieri di traffico. Anche in questo caso i dati derivano dalle banche dati internazionali di ICAO, FAA, Airsafe, ANSV. La dispersione delle rotte rispetto ad un riferimento fisso come la pista assume un ruolo importante nel calcolo del rischio. A livello operativo, i dati vengono disposti su una griglia il cui asse principale è il prolungamento ideale della centerline. Per ogni tipologia d'incidente (landing undershoot, landing or take off overrun, veer-off) si ha una diversa distribuzione sia in funzione della natura stessa dell'incidente, che della distanza longitudinale e trasversale dalla pista.

...

Modello per le conseguenze degli incidenti

Tale modello studia le conseguenze di un incidente, considera solo le persone a terra, non i passeggeri né il personale di bordo e definisce le conseguenze di un incidente aereo in termini di estensione dell'area distrutta. La gravità dell'incidente viene dunque espressa in unità di superficie ed è funzione del peso e dell'apertura alare dell'aereo. Lungo le direzioni di atterraggio e decollo per ogni direzione di pista viene costruita una griglia base con origine nel fine pista e con asse disposto lungo il prolungamento ideale della centerline, il modello di calcolo viene quindi applicato su ogni punto della griglia. In considerazione dell'elevato numero di punti e della complessità delle formule matematiche applicate è stato necessario costruire un apposito foglio di calcolo elettronico. Una volta conclusa l'attività di calcolo, il modello fornisce livelli di rischio individuale che fanno riferimento alla probabilità che un individuo, residente permanentemente nei dintorni di un aeroporto, ha di rimanere coinvolto in un incidente aereo. Tali livelli di rischio vengono calcolati per ogni punto della griglia sopra citata; a questo punto si passa alla rappresentazione grafica dei risultati riportando sulla planimetria dell'intorno aeroportuale le curve di isorischio caratterizzate dai valori di 1×10^{-4} , 1×10^{-5} , 1×10^{-6} . L'applicazione del modello fornisce quindi una serie di curve di isorischio che vengono riportate sulla base cartografica rappresentante il territorio in cui è inserito l'aeroporto oggetto di studio.

Il documento dell'ENAC non fornisce maggiori informazioni sul modello di calcolo, ma dà conto di un'importante procedura di validazione del modello mediante un confronto con il modello olandese:

Il secondo step della fase di definizione e sviluppo della metodologia di valutazione del rischio contro terzi è costituito dalla validazione del modello. Con la validazione viene verificata l'affidabilità del modello e quindi dell'algoritmo matematico utilizzato, per garantire la capacità di maneggiare i dati sia nelle fasi di input che di correlazione. Vengono inoltre assicurate la ripetibilità e la riproducibilità dei risultati forniti dal modello matematico. Al fine di validare il modello messo a punto e di conseguenza testare i risultati forniti dallo stesso, è stata condotta un'applicazione in parallelo con l'Autorità olandese, il cui modello di calcolo è ritenuto uno dei più evoluti anche dall'ICAO, su uno stesso caso di studio. Il modello sviluppato dall'ENAC ha fornito dei risultati simili a quello olandese, scelto come riferimento, confermandone pertanto l'attendibilità. E' stato quindi condotto un secondo studio che ha confermato i risultati della prima applicazione. In ragione dei positivi risultati forniti dalla procedura di validazione, la fase di sviluppo della metodologia di valutazione è stata quindi ritenuta conclusa positivamente.

Maggiori informazioni sul modello di calcolo possono essere invece ricavate da una pubblicazione scientifica congiunta dell'ENAC e di membri del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli studi di Roma "La Sapienza" [3]. La pubblicazione è del 2012. Si riportano in particolare alcuni passaggi della pubblicazione, dai quali si evince la relazione tra il modello adottato dall'ENAC ed i modelli irlandese e olandese:

"In 2005, in Italy, the Law to review the Aviation Code of navigation [6] introduces the concept of individual risk assessment. The decree stipulates that ENAC identifies those airports that should be subject to risk analysis. Sapienza - University of Rome has developed a computer program to assess the third party risk by calculation model derived from the Irish [3] and Dutch [3, 7, 8] models, Probability Distribution Functions (PDF) has been assumed from the first model, while the calculation of the Individual Risk (IR) is referred to the Dutch model.

...

The model developed for the assessment of the Public Safety Zone (PSZ) around airports consists of three sub-models, in line with the guidelines of ICAO Airport Planning Manual [9]:

- *a probabilistic model of accidents;*
- *a probabilistic model of accidents dispersion around the airport;*

- *a model of accident consequences.*

The first model defines the accident probability for each aircraft type and flight phases, starting from available data-bases. Data set must be chosen and adapted to each airport under evaluation and is closely related with the traffic mix. All accidents within airport fenced area should also be discarded. ICAO, FAA, Airsafe, ANSV (Italian Agency of Flight Safety) database were analyzed. Depending on these data, it is possible to evaluate the Probability Density Function (PDF) of an accident in every point of a specific area."

Da questi passaggi si comprende quindi che per il calcolo della probabilità di localizzazione degli incidenti intorno ad una pista di volo (il secondo componente nella struttura in Fig. 4.1) è stato assunto il modello irlandese. Per il calcolo del rischio individuale (il terzo componente in Fig. 4.1) è invece stato adottato il modello olandese.

Per quanto riguarda il primo componente, cioè la probabilità d'incidente per tipo di aeromobili e per fasi di volo, non viene invece specificato il modello adottato. La tabella 1 riportata sotto presenta delle probabilità relative di incidente per fase di volo che sono identiche a quelle dei modelli inglese ed irlandese. La probabilità assoluta per tipologia di aeromobile non viene però fornita.

Table 1. Distribution of accidents adopted in the model.

P	Crash rate per million movements		
	Crashes	Overruns	Total
Landings	0.52 R	0.2 R	0.72 R
Take-offs	0.2 R	0.08 R	0.28 R

Fig. 4.2. Probabilità relative di incidente durante le fasi di atterraggio e di decollo [9]. R è la probabilità assoluta di incidente per tipologia di aeromobile, che non viene fornita.

La pubblicazione ENAC-Sapienza riporta poi alcune delle equazioni fondamentali utilizzate nel modello, ma non riporta invece tutti i parametri necessari per effettuare il calcolo in modo autonomo; in particolare non riporta i parametri necessari per definire la PDF per ogni tipologia di incidente. La pubblicazione riporta poi un calcolo dimostrativo delle curve di isorischio relativo al Masterplan dell'aeroporto di Milano-Malpensa. Come già notato in precedenza, dal calcolo sono escluse le aree laterali alle piste di volo.

Seguendo le indicazioni della pubblicazione ENAC-Sapienza, si è analizzata la struttura dei modelli inglese, irlandese ed olandese per ricostruire un modello di calcolo il più aderente possibile a quello utilizzato dall'ENAC. Si sono analizzate in particolare le pubblicazioni per il modello inglese [8], per il modello irlandese [9] e per il modello olandese [10]. L'analisi ha mostrato che la struttura dei tre modelli è molto simile, ed è basata sugli stessi componenti in Fig. 4.1: un modello per la probabilità di incidente, un modello per la distribuzione spaziale degli incidenti, ed un modello per il calcolo del rischio individuale.

Va notato che il modello irlandese è semplicemente una rivisitazione del modello inglese per quanto riguarda i modelli matematici che descrivono le Probability Distribution Functions. Tutti gli altri componenti del modello, ed in particolare la probabilità di incidenti per tipologia di aeromobile ed e l'area distrutta per tipologia di aeromobile, sono rimasti invariati.

Il modello olandese è invece basato su un diverso modello di calcolo del rischio individuale. In particolare, vi è una differenza che riguarda le traiettorie di atterraggio e decollo effettive. Il modello anglo-irlandese assume infatti che siano rettilinee ed allineate con l'asse della pista non solo le traiettorie di atterraggio (come normalmente avviene a causa delle procedure di atterraggio strumentale), ma anche quelle di decollo. Il modello olandese è invece in grado di includere nel calcolo del rischio l'effettiva curvatura delle

traiettorie di decollo. Vi è poi una leggera differenza per quanto riguarda l'area distrutta da un singolo incidente aereo.

Va infine notato che le pubblicazioni relative ai modelli inglese ed irlandese forniscono tutti i parametri necessari per il calcolo delle curve di isorischio, e quindi i modelli possono essere utilizzati per un calcolo autonomo. Le pubblicazioni relative al modello olandese, invece, non riportano i coefficienti delle funzioni di distribuzione della probabilità di incidente, rendendo impossibile un calcolo autonomo.

In seguito all'analisi fatta, si è deciso di utilizzare i seguenti sotto-modelli per riprodurre il più da vicino possibile il modello utilizzato dall'ENAC:

1) Modello per la probabilità di incidenti. Come si è detto, nel documento ENAC e nella pubblicazione ENAC-Sapienza chiariscono quali particolari probabilità di incidente siano stati considerati per ogni tipologia di aeromobile. In assenza di informazioni precise, si è deciso di utilizzare le probabilità comuni ai modelli inglese ed irlandese. Per semplicità, si è deciso di effettuare il calcolo solo per gli aeromobili di aviazione commerciale, trascurando quindi il contributo dell'aviazione generale.

2) Modello per la distribuzione di probabilità locale di incidenti. Si è adottato il modello irlandese, così come fatto per il modello ENAC-Sapienza. A differenza di quanto fatto dall'ENAC, si è calcolato il rischio di incidenti anche nelle aree laterali alla pista di volo.

3) Modello per il calcolo del rischio terzi. Si è inizialmente utilizzato il modello irlandese e si sono considerate traiettorie rettilinee sia per l'atterraggio che per il decollo. Si è poi effettuato un secondo calcolo utilizzando il modello olandese per l'area distrutta nel singolo incidente.

In definitiva, si può affermare che il modello utilizzato per il calcolo in questo studio è quello irlandese.

È importante notare che i risultati del calcolo che si mostreranno in Sez. 5 non devono necessariamente coincidere con quelli che l'ENAC potrebbe ottenere dal proprio modello di calcolo. Infatti, come si è appena visto, sussistono incertezze su alcuni dei componenti del modello ENAC-Sapienza. Il calcolo effettuato non può quindi sostituire il calcolo ufficiale che soltanto l'ENAC può compiere.

È importante osservare anche che i modelli inglese ed irlandese adottati non hanno nessuna limitazione riguardo al numero di movimenti aerei annui. La criticità di questo tipo di modelli sta soprattutto nell'aver un numero sufficiente di incidenti storici ben documentati per poter ricostruire PDF attendibili. Una volta fatto ciò, le distribuzioni di probabilità possono essere calcolate anche per aeroporti con traffico medio-basso. Ad esempio, il modello irlandese è stato utilizzato per analizzare il caso dell'aeroporto di Cork nell'anno 2000, con circa 47600 movimenti per anno, di cui soltanto la metà di aviazione commerciale [9]. Il modello inglese è invece stato utilizzato già nel 1997 per l'aeroporto di Leeds Bradford, con circa 49.700 mov/anno. Ad oggi, i due modelli sono stati utilizzati per definire le Public Safety Zones per 35 aeroporti in UK, vari dei quali hanno un numero di movimenti annui ben al di sotto di 50000 [17]. Si citano ad esempio London Southend (circa 23000 movimenti nel 2015) e Exeter (circa 33000 movimenti nel 2015). Va osservato che per il modello olandese viene invece posto un limite inferiore di 150000 movimenti/anno per mantenere l'affidabilità del modello, che è stato sviluppato per modellizzare il caso specifico dell'aeroporto di Schiphol (ref. 10, pag. 11-12).

A questo punto è importante notare una limitazione del modello anglo-irlandese, che è la mancanza di una relazione tra le caratteristiche generali della pista di volo considerata (ad esempio: lunghezza, condizioni meteo tipiche, eventuali ostacoli alla navigazione aerea, uso mono o bidirezionale, etc.) ed il rischio che avvengano incidenti aerei. Esiste un recentissimo modello di calcolo sviluppato in collaborazione con la FAA americana che tiene conto di molti di questi fattori, e che perciò potrebbe stimare più accuratamente il

rischio per una pista specifica [14]. Sfortunatamente, tale modello è stato messo a punto solo per le aree laterali alle piste e non riesce invece a prevedere il rischio nelle aree oltre le estremità delle piste.

In conclusione di questa sezione si nota che il lavoro di ricerca ENAC-Sapienza è proseguito successivamente a quello riportato nella pubblicazione citata. E' stato infatti compiuto un lavoro di ricerca sulla probabilità di incidente aereo per tipologia di aeromobili e di fase del volo, aggiornato al periodo 1996-2011. Sulla base di tali dati aggiornati sono state poi definite nuove funzioni di distribuzione di probabilità di incidenti durante le fasi di atterraggio e di decollo [18-19]. Non ci risulta che tali modelli siano stati già integrati nel modello di calcolo ufficiale adottato dall'ENAC, ma sicuramente potranno esserlo in occasioni di future revisioni della normativa.

5. Modello utilizzato per il calcolo delle curve di isorischio

In questa sezione si descrive in dettaglio il modello irlandese utilizzato per il calcolo delle curve di isorischio [9], che come si è detto si basa in massima parte sul modello inglese [8].

Nel modello irlandese, così come in tutti gli altri modelli considerati, il rischio individuale è il risultato della combinazione di sotto-modelli, come già discusso in Sez.4. Nel seguito si analizzano uno ad uno.

1a) Ogni tipologia di aeromobile ha una certa probabilità R di subire incidenti durante le fasi di decollo o di atterraggio, che è stata determinata attraverso un'analisi degli incidenti avvenuti a livello globale. La probabilità è tipicamente dell'ordine di $0.1-1 \times 10^{-6}$. In altre parole, si ha un incidente ogni 1-10 milioni di movimenti in atterraggio o decollo.

Aircraft class	Crash Rate ⁽¹⁾ (Crashes per million movements)
Class I jets	1.114
Class II-IV jets	0.148
Eastern jets	0.930
Executive jets	0.270
Turboprops T1	0.270
Turboprops T2	0.733
Turboprops (unclassified)	0.733
Piston-engine	3.000
Other non-commercial	3.000
Miscellaneous	3.000

Tab. 5.1. Probabilità di incidente per tipologia di aeromobile. La figura è tratta da ref. 8.

Una tabella dettagliata che collega i modelli di aeromobili di aviazione commerciale attualmente in operazione con le tipologie in Tab. 5.1 può essere trovata in ref. 9. Lo scenario per l'aeroporto di Firenze è in realtà molto semplice. Tutti i jet di aviazione commerciale che fanno parte del fleet mix attuale e futuro dell'aeroporto di Firenze (A318-321, E170-195, B733-738, RJ1H, etc.) appartengono alla Class II jets. I turboelica che fanno parte del fleet mix attuale dell'aeroporto di Firenze (DH8D, AT45) appartengono invece alla generazione Turboprops T1.

1b) Gli incidenti sono stati divisi in 4 categorie, a seconda che l'impatto dell'aeromobile con il suolo sia avvenuto prima o dopo aver incontrato la pista nel caso degli atterraggi (*landing crashes* o *landing overruns*), oppure prima o dopo aver lasciato la pista nel caso dei decolli (*take off crashes* o *take off overruns*). Per ognuna delle quattro tipologie è stata rilevata una probabilità relativa, riportata nella tabella seguente. R è la probabilità assoluta prima definita.

Tipologia d'incidente	Landing crashes	Landing overruns	Take off crashes	Take off overruns
Probabilità	$0.52R$	$0.2R$	$0.2R$	$0.08R$

2) Per ognuna delle 4 categorie di incidente è stato analizzato il database di incidenti storici disponibili al momento della definizione del modello (1997). E' stata così trovata una funzione analitica che ben approssima la reale funzione di distribuzione di probabilità (PDF) per l'incidente sulla superficie in prossimità della pista. Le PDF sono funzioni del tipo $f(x,y)$ che rappresentano una densità di probabilità, misurata in m^{-2} . Le coordinate x e y sono definite come in Fig 5.1. Va notata una leggera differenza di definizione nei casi di overrun o non overrun. Nel primo caso la $f(x,y)$ è la distribuzione spaziale del punto di impatto, mentre nel secondo caso è la distribuzione spaziale dei rottami. Riporteremo i dettagli delle PDF più avanti.

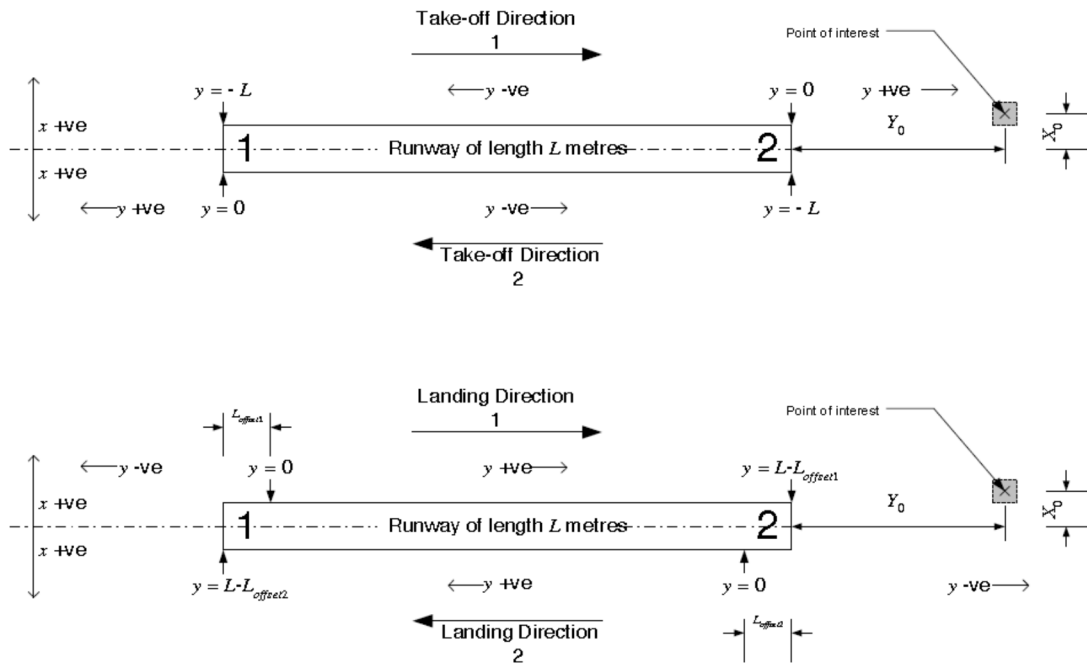


Fig. 5.1. Definizione delle coordinate utilizzate nelle PDF. La figura è tratta da ref. 9.

3) La gravità dell'impatto dipende dalle dimensioni, o meglio dalla massa W dell'aeromobile. Nello studio anglo-irlandese (ref. 9, a pag. A6), sulla base degli incidenti storici è stata trovata una relazione tra l'area A distrutta dall'incidente e la cosiddetta massa a pieno carico dell'aeromobile al decollo (MTOW). La relazione è:

$$\ln(A) = \ln(1000) - 6.16 + 0.474 \ln(W),$$

dove A è l'area distrutta in m^2 , W è la MTOW in kg e $\ln()$ è la funzione logaritmo naturale. Ad esempio, per un aeromobile A319, per cui la MTOW è circa 64.000 kg, l'area A corrisponde ad un quadrato di lato a pari a circa 63 m.

Nel caso usuale di un fleet mix che comprende N diverse tipologie di aeromobili, l'area va calcolata attraverso una media pesata:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N M_i R_i A_i}{\sum_{i=1}^N M_i R_i}$$

dove M_i e R_i sono rispettivamente il numero di movimenti ed il rischio di incidenti per l' i -esima tipologia di aeromobile.

Il rischio individuale RI in un punto dello spazio si ottiene integrando sull'area distrutta le PDF pesate per le probabilità e mediate sul fleet mix:

$$RI = \int_{x_0 - \frac{a}{2}}^{x_0 + \frac{a}{2}} \int_{y_0 - \frac{a}{2}}^{y_0 + \frac{a}{2}} 2 \sum_j R_j M_j f_j(x, y) dx dy$$

La sommatoria è estesa alle 4 tipologie di incidente per le varie direzioni di atterraggio e di decollo. E' importante notare come l'espressione per il RI sia lineare nel numero di movimenti, a conferma del fatto che il modello è utilizzabile in principio per piste con qualunque volume di movimenti.

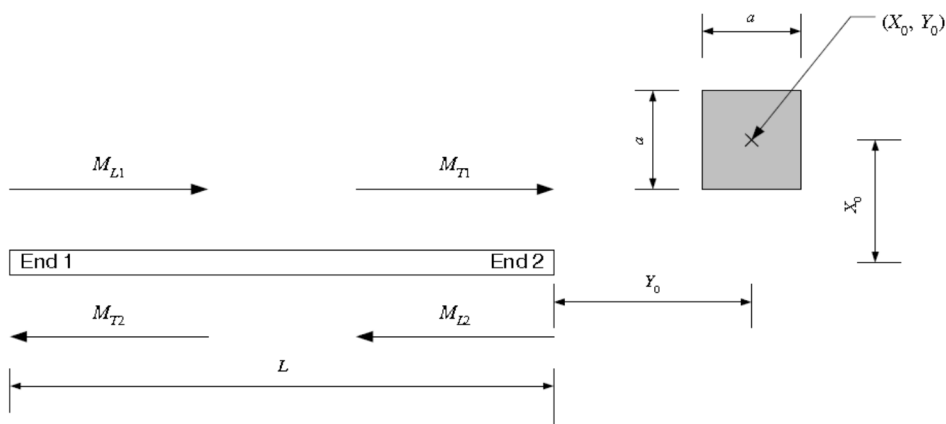


Fig. 5.2. Definizione dell'area di distruzione utilizzata nell'integrale per il calcolo del rischio individuale. La figura è tratta da ref. 9.

A partire dal calcolo del rischio individuale in tutta l'area attorno ad una pista di volo è possibile ricavare le cosiddette curve di isorischio, cioè le linee che uniscono i punti sul territorio con lo stesso RI. Come si è già discusso nelle sezioni precedenti, i valori di RI di riferimento sono 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} . Le corrispondenti curve di isorischio delimitano rispettivamente le aree ad alta tutela, di tutela interna e di tutela intermedia.

Presentiamo adesso in modo dettagliato le PDF del modello irlandese. La forma generale delle distribuzioni è:

$$f(x, y) = g(y)h(x, y)$$

Le coordinate x ed y sono definite come in Fig. 5.1. Il caso che analizzeremo è particolarmente semplice, dato che è previsto un utilizzo della pista di progetto in modo sostanzialmente unidirezionale, con una sola direzione di atterraggio ed una sola direzione di decollo. E' importante notare che queste distribuzioni sono state ricavate analizzando dati storici di incidenti avvenuti su piste di diverse lunghezze, e quindi non tengono conto della lunghezza delle piste specifiche a cui il modello è applicato. Questa è una chiara limitazione del modello di cui si dovrebbe tener conto soprattutto nel caso di pista di volo con lunghezza anomala (ad esempio nel caso della pista attuale dell'aeroporto di Firenze, che è molto corta rispetto allo standard internazionale).

Le due funzioni $g(y)$ e $h(x, y)$ assumono forme diverse per le quattro tipologie di incidenti, come riportato nel seguito.

Landing crashes

$y > 0$:

$$g(y) = p \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} y^{\alpha-1} \exp\left[-\frac{y}{\beta}\right]$$

dove $\alpha=0.283$, $\beta=6441.9$, $p=0.307$ e $\Gamma(\alpha)$ è la funzione Gamma.

$y < 0$:

$$g(y) = (1-p) \frac{\alpha}{\beta^\alpha} |y|^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{|y|}{\beta}\right)^\alpha\right]$$

dove $\alpha=0.567$, $\beta=3609.0$, $p=0.307$

$$h(x, y) = \frac{1}{2} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} |y|^{\alpha c} |x|^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{|x|}{\beta}\right)^\alpha |y|^{\alpha c}\right]$$

dove $\alpha=0.427$, $\beta=0.213$, $c=-0.877$ per $y > 0$ e $\alpha=0.507$, $\beta=0.158$, $c=-0.952$ per $y < 0$.

Landing overruns

$y > 0$:

$$g(y) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} y^{\alpha-1} \exp\left[-\frac{y}{\beta}\right]$$

dove $\alpha=4.906$, $\beta=392.1$,

$$h(x, y) = \frac{1}{2} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} |y|^{\alpha c} |x|^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{|x|}{\beta}\right)^\alpha |y|^{\alpha c}\right]$$

dove $\alpha=0.831$, $\beta=10313$, $c=0.778$.

Take-off crashes

$y > 0$:

$$g(y) = p \frac{\alpha}{\beta^\alpha} y^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{y}{\beta}\right)^\alpha\right]$$

dove $\alpha=0.687$, $\beta=2863.7$, $p=0.630$

$y < 0$:

$$g(y) = (1-p) \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} |y|^{\alpha-1} \exp\left[-\frac{|y|}{\beta}\right]$$

dove $\alpha=1.968$, $\beta=570.62$, $p=0.630$

$$h(x, y) = \frac{1}{2} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} |y|^{\alpha c} |x|^{\alpha-1} \exp \left[- \left(\frac{|x|}{\beta} \right)^\alpha |y|^{\alpha c} \right]$$

dove $\alpha=0.668$, $\beta=4.705$, $c=-0.617$ per $y>0$ e $\alpha=0.485$, $\beta=589.91$, $c=0.211$ per $y<0$.

Take-off overruns (solo $y>0$)

$$g(y) = p \frac{\alpha}{\beta^\alpha} y^{\alpha-1} \exp \left[- \left(\frac{y}{\beta} \right)^\alpha \right]$$

dove $\alpha=1.336$, $\beta=342.6$, $p=0.761$

$$h(x, y) = \frac{1}{2} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} |y|^{\alpha c} |x|^{\alpha-1} \exp \left[- \left(\frac{|x|}{\beta} \right)^\alpha |y|^{\alpha c} \right]$$

dove $\alpha=0.684$, $\beta=74.37$, $c=0.354$.

Per comprendere la diversa forma delle PDF così definite conviene effettuare il calcolo del RI per i quattro contributi separati e poi calcolare le corrispondenti curve di isorischio. Ad esempio, Fig. 5.3 mostra questo tipo di calcolo per una pista di volo monodirezionale: tutti i decolli avvengono da destra verso sinistra, mentre tutti gli atterraggi avvengono da sinistra verso destra. Per gli atterraggi, la pista di volo parte da $y=0$ e si estende nel verso di y positivo. Il fleet mix ed il numero di movimenti sono all'incirca quelli dell'aeroporto di Firenze allo stato attuale (14000 mov/anno sia in atterraggio che in decollo; fleet mix 40% A319, 40% E190, 20% DH8D), e si sono calcolate le curve di isorischio pari a 10^{-6} .

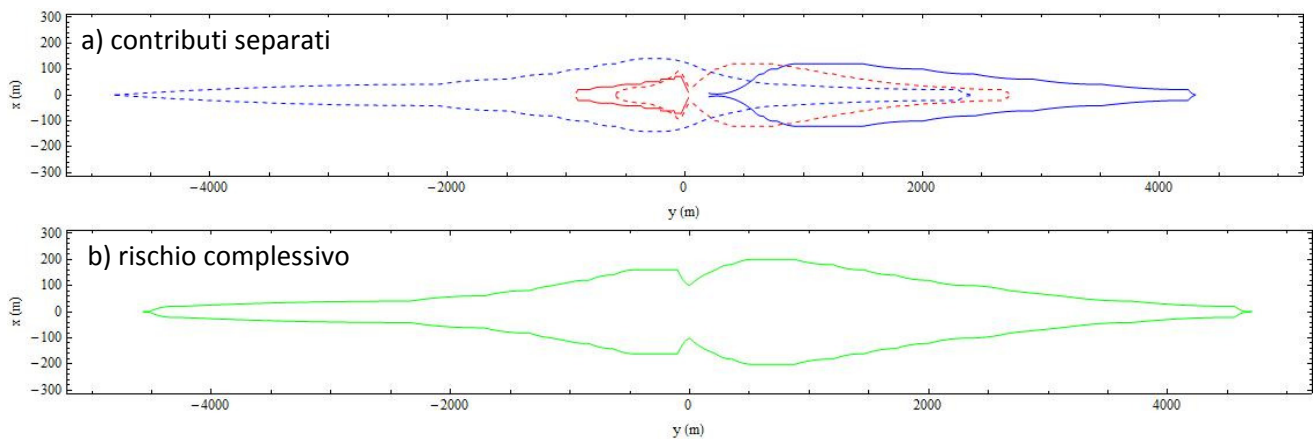


Fig. 5.3. Curve di isorischio 10^{-6} per un'ipotetica pista usata in modalità monodirezionale (atterraggi da sinistra verso destra e decolli da destra verso sinistra). La pista di volo parte da $y=0$ e si estende nel verso di y positivo. a) Curve di isorischio per i quattro contributi individuali descritti nel testo. Le curve blu si riferiscono agli incidenti in atterraggio, quelle rosse agli incidenti in decollo. Le curve a tratto continuo si riferiscono agli incidenti di tipo overrun, quelle tratteggiate ai non overrun. La risoluzione del calcolo è 20 m per gli atterraggi e 10 m per i decolli. b) Curva di isorischio 10^{-6} complessiva, ottenuta sommando i quattro contributi al RI. Alle estremità la curva è stata troncata per larghezze inferiori a 40 m.

Si possono fare alcune osservazioni generali:

- a) Si nota chiaramente come i principali contributi al rischio oltre le estremità della pista sono dovuti agli incidenti in atterraggio (non overrun prima dell'inizio della pista, overrun oltre la fine della pista). Le curve di isorischio dovute a questi contributi si estendono, per quanto riguarda la zona esterna (rischio pari a 10^{-6}), per svariati chilometri. E' importante notare che le curve di isorischio si estendono anche sul lato che in principio non interessato da nessun movimento aereo, essendo la pista unidirezionale (il lato destro in figura).
- b) Il rischio nelle aree laterali alla pista è invece dominato dagli incidenti overrun in atterraggio e da quelli non overrun in decollo. Il rischio laterale è massimo poco prima e poco dopo la testata della pista ($y=0$ in figura).
- c) E' anche interessante notare che le curve legate agli atterraggi possano essere pensate in prima approssimazione indipendenti dalla particolare pista per cui è effettuato il calcolo, dato che gli atterraggi sono quasi esclusivamente di tipo strumentale, cioè avvengono lungo una linea retta che passa per l'asse della pista. Il caso dei decolli è invece diverso, in quanto spesso la rotta standard (SID) è curva per ridurre l'impatto acustico sui centri abitati. Si noti però la ridotta estensione dei contributi dovuti ai decolli per $y < 0$. Questo fa sì che per una pista usata in modo monodirezionale la forma della curva mostrata in Fig. 5.3 sia una buona approssimazione indipendentemente dalle effettive rotte di decollo.

In conclusione di questa sezione si nota che il modello per il calcolo del rischio individuale da incidenti di aviazione generale ha una struttura abbastanza diversa, che deriva soprattutto dalla difficoltà nel ricostruire l'esatta dinamica degli incidenti storici. Gli studi inglese ed irlandese [8,9] notano che il contributo degli incidenti di aviazione generale in generale non è trascurabile, perchè il minore effetto distruttivo degli aeromobili (più piccoli) è compensato da un rischio di incidente R molto più alto. Come già scritto, in questo studio non si considererà il contributo dell'aviazione generale.

6. Curve di isorischio per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze

In questa sezione si discute il calcolo delle curve di isorischio per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze. La pista è prevista avere orientazione 12/30 ed avere una lunghezza di 2400 m. I dati rilevanti per il calcolo possono essere ricavati dal Masterplan 2014-2029. Le due tabelle successive riportano il numero di movimenti annui per l'aviazione commerciale e la tipologia di aeromobili. Nel calcolo si assumerà assenza di aviazione generale, nonostante che il Masterplan preveda un traffico pressochè costante per il periodo 2014-2029, attorno a 7000 mov/anno. Si sono effettuati due calcoli separati, uno per lo scenario del 2014 e l'altro per lo scenario previsto per il 2029.

Aeromobili per categoria orizzonte 2014-2029			
Aeromobili	Catg	2014	2029
A320 - A321- B737/800	2/3		42,00%
B737/700	2	0,28%	
A318 - A319	1	39,26%	49,00%
B717	1	3,20%	2,00%
E175 - E190 _E195	1	31,77%	7,00%
RJ85 - RJ100	1	12,14%	
F100	1	2,19%	
DH4	1	6,87%	
AT5/S20	1	4,29%	
		100%	100%

Tab.6.1. Fleet mix per l'aeroporto di Firenze, dal Masterplan 2014-2029 [7].

Dati Traffico 2014/2029 (Aviazione Commerciale)				
Anno	Mov/anno	Var. %	Pax/anno	Var. %
2014	26.795	6,95%	2.070.709	5,01%
2015	27.254	1,71%	2.133.125	3,01%
2016	27.720	1,71%	2.197.416	3,01%
2017	28.194	1,71%	2.263.639	3,01%
2018	25.548	-9,38%	2.610.980	15,34%
2019	28.358	11,00%	2.989.573	14,50%
2020	30.343	7,00%	3.228.738	8,00%
2021	31.860	5,00%	3.420.848	5,95%
2022	33.132	3,99%	3.575.802	4,53%
2023	34.182	3,17%	3.692.623	3,27%
2024	35.264	3,17%	3.813.261	3,27%
2025	36.382	3,17%	3.937.840	3,27%
2026	37.534	3,17%	4.066.490	3,27%
2027	38.723	3,17%	4.199.342	3,27%
2028	39.950	3,17%	4.336.534	3,27%
2029	41.216	3,17%	4.478.209	3,27%

Fonte: Dati del gestore AdF -Aeroporto di Firenze SpA - Dic. 2013

Tab.6.2. Evoluzione temporale del traffico previsto per l'aeroporto di Firenze, dal Masterplan 2014-2029 [7].

Fig. 6.1 mostra invece una sintesi delle rotte e delle direzioni di utilizzo della pista di volo. Secondo il progetto ufficiale, tutti gli atterraggi avverranno per pista 12 (da sinistra verso destra in figura), mentre tutti i decolli avverranno per pista 30 (da destra verso sinistra). Gli atterraggi saranno tutti del tipo strumentale,

ed avverranno quindi nominalmente lungo la direzione identificata dall'asse della pista. Per i decolli è invece prevista anche una procedura antirumore che contempla una virata verso Ovest che inizia a circa 4 km dalla testata 12 della pista, all'altezza dell'abitato di Campi Bisenzio.

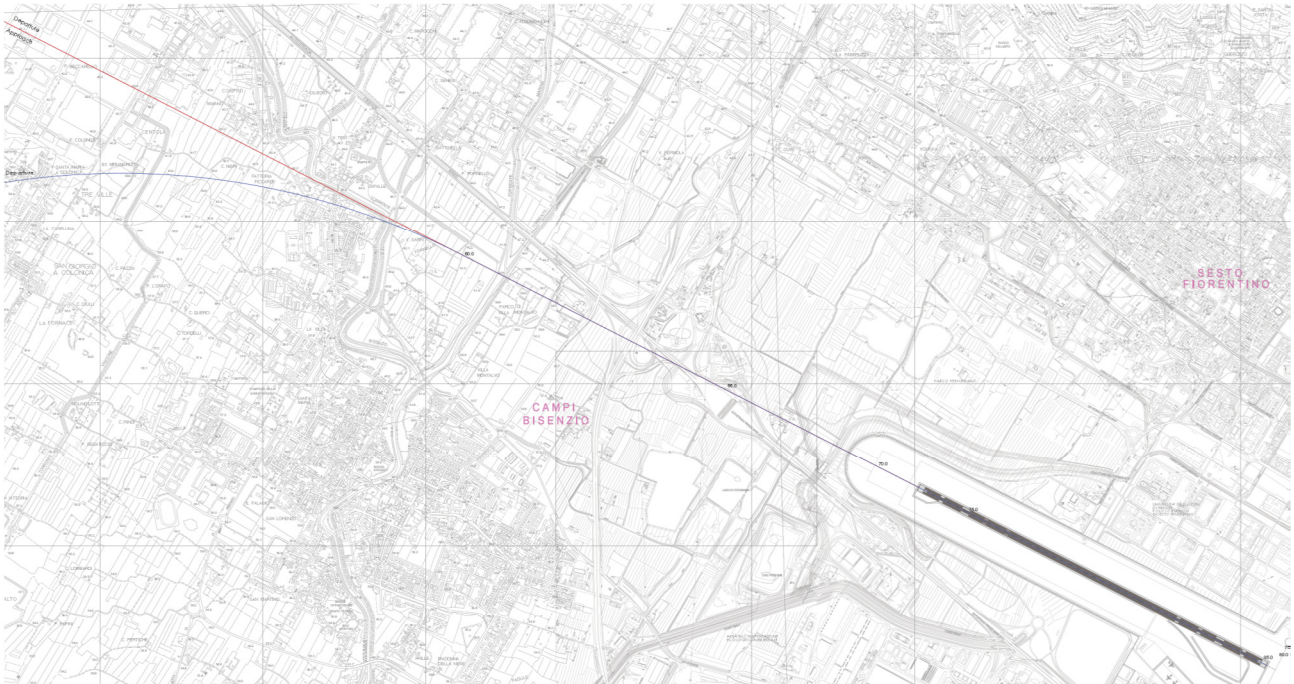


Fig. 6.1. Rotte di atterraggio e decollo previste per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze [20].

Nel calcolo si è per semplicità assunto che tutti i decolli avvengano lungo la stessa direzione dell'atterraggio. Come si intuisce da Fig. 6.1, questa approssimazione porterà ad una deviazione dalle curve di isorischio effettive soltanto a grande distanza dalla pista.

Il calcolo è stato effettuato come descritto in Sez. 5, utilizzando il modello irlandese con le probabilità di incidenti definiti dallo studio inglese. Il rischio individuale è stato calcolato mediante integrazione numerica su una griglia con spaziatura di 20 m per 20 m. Per costruire le curve di isorischio sono stati prima identificati i punti della griglia con RI uguale ai valori di riferimento entro l'1-5% e poi è stata definita la curva isorischio mediante un'interpolazione. Alle estremità, le curve sono state troncate per larghezze inferiori a 40 m. Si è effettuato il calcolo soltanto per $RI=10^{-5}$ e $RI=10^{-6}$, perchè solo le relative curve isorischio ricadono in gran parte al di fuori del sedime aeroportuale. La zona ad alta tutela interna alla curva con $RI=10^{-4}$ ricade invece in gran parte all'interno del sedime.

Una volta trovate le curve di isorischio sul piano (x,y) , le si sono riportate su una fotografia aerea del territorio per analizzarne l'impatto sulle urbanizzazioni ed attività già presenti sul territorio. Fig. 6.2 riporta le curve di isorischio per lo scenario 2014 e Fig. 6.3 quelle per lo scenario 2029, che è l'orizzonte del Masterplan aeroportuale. Il calcolo per il 2029 è stato effettuato considerando sola aviazione commerciale con 41000 movimenti.

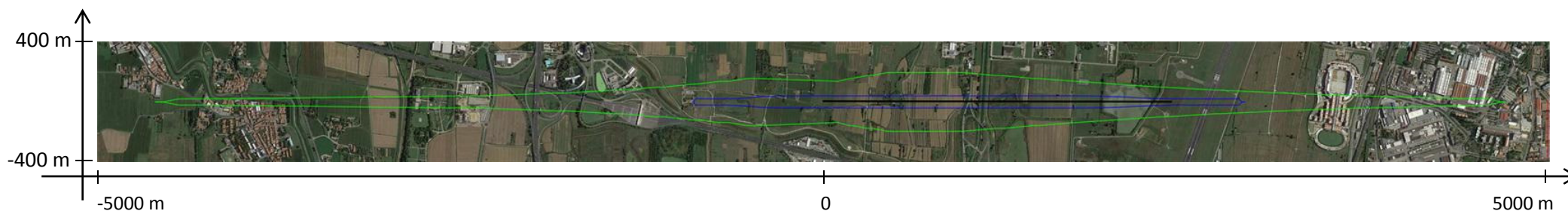


Figura 6.2. Stima delle curve di isorischio per 14000 movimenti sia in atterraggio (RWY 12) che in decollo (RWY 30). La linea nera rappresenta la pista di volo. La curva verde è relativa al rischio individuale 10^{-6} e racchiude quindi la zona di tutela esterna, mentre la curva blu è relativa al rischio individuale 10^{-5} e racchiude la zona di tutela intermedia. La composizione del traffico è una approssimazione di quella del Masterplan, orizzonte 2016 (45% A319, 45% E190, 10% DH8D, assumendo assenza di aviazione generale). La mappa ha dimensioni 10000 m x 800 m ed è centrata sull'estremità della pista prossima al THR 12.



Figura 6.3. Stima delle curve di isorischio per 20600 movimenti sia in atterraggio (RWY 12) che in decollo (RWY 30). La linea nera rappresenta la pista di volo. La curva verde è relativa al rischio individuale 10^{-6} , quella blu al rischio individuale 10^{-5} . La composizione del traffico è presa dal Masterplan, orizzonte 2029 (assumendo assenza di aviazione generale). Come per la Fig. 6.2, la mappa ha dimensioni 10000 m x 800 m ed è centrata sull'estremità della pista prossima al THR 12.

Si ricorda che le curve di isorischio mostrate in Fig. 6.2 e 6.3 non corrispondono necessariamente a quelle che potranno essere calcolate dall'ENAC con il modello di calcolo ufficiale. Potrebbero infatti esserci deviazioni, anche significative, legate ad esempio alla probabilità di incidente per tipologia di aeromobile, oppure alla dispersione ed alla curvatura delle rotte di atterraggio e decollo. Inoltre, il modello utilizzato non tiene conto del contributo dell'aviazione generale. Nel primo caso la forma relativa delle curve rimarrebbe invariata, ma ne cambierebbe la scala. Negli altri casi cambierebbe anche la forma delle curve. Le curve calcolate in questo studio vanno quindi utilizzate per un'analisi soltanto qualitativa e non quantitativa.

Nella figura successiva si mostrano alcune porzioni di Fig. 6.3, al fine di evidenziare l'impatto delle curve di isorischio al 2029 con le urbanizzazioni già esistenti sul territorio. Va notato in particolare in d) l'impatto della zona di tutela intermedia (quella contenuta tra la curva verde e la curva blu) con la Scuola Marescialli

Carabinieri, per il quale è previsto un carico antropico non trascurabile e che pertanto è formalmente un obiettivo vulnerabile. Altri impatti degni di nota sono quelli con l'abitato di Campi Bisenzio in a), con l'area autostradale di Firenze Nord in b), e la vicinanza con il Plesso didattico del Polo Scientifico dell'Università di Firenze, in c). In quest'ultimo caso non appare esserci una forte criticità, almeno sulla base delle curve calcolate che però, come si è detto, potrebbero differire anche significativamente da quelle ufficiali dell'ENAC. Va notato inoltre che il rischio laterale potrebbe essere modificato significativamente dalle condizioni anemometriche particolari che si prospettano per la pista di progetto (venti forti al traverso, monodirezionalità). Sarà pertanto importante effettuare una stima più accurata del rischio nelle aree laterali con il modello americano che si è già menzionato [14].

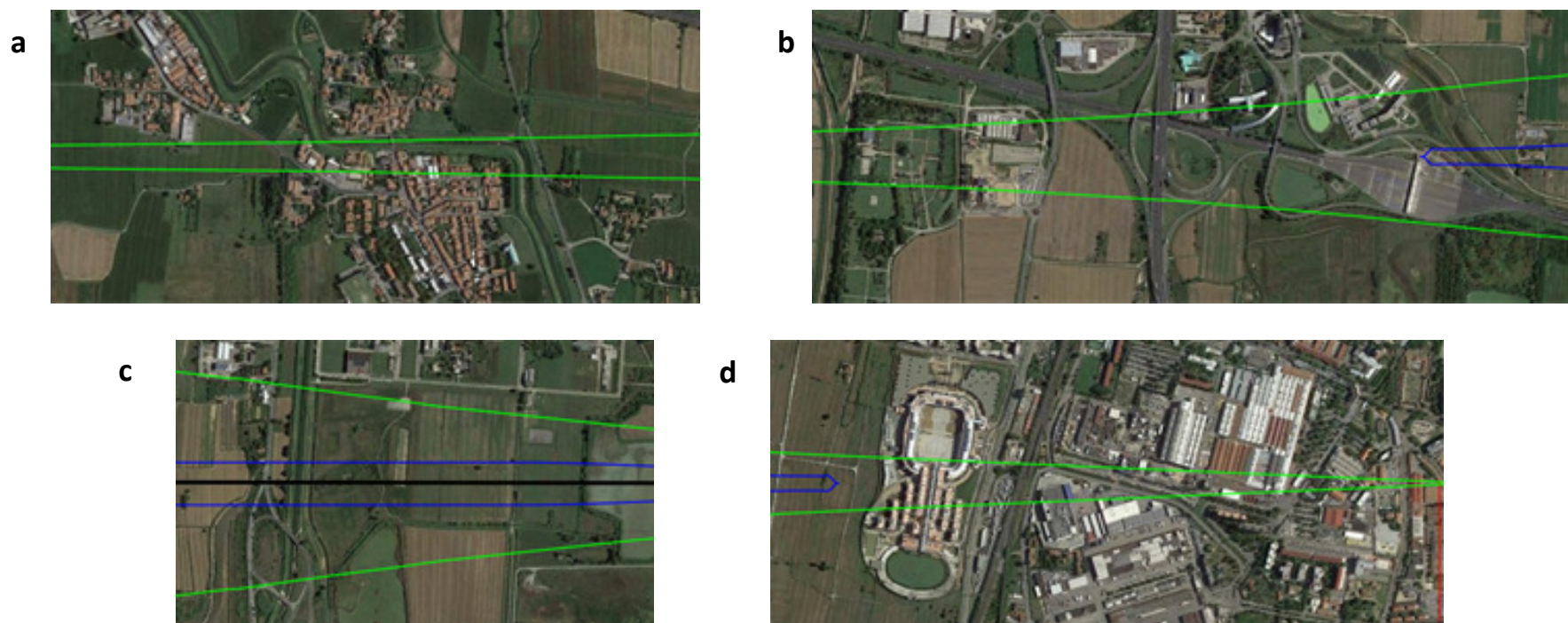


Figura 6.4. Alcuni particolari della Fig. 6.3 evidenziano la relazione delle curve isorischio calcolate con attività ed urbanizzazioni già presenti sul territorio: a) abitato di Campi Bisenzio; b) casello autostradale e centro direzionale; c) Polo Scientifico; d) Caserma Marescialli Carabinieri e zona industriale.

7. Confronto tra curve di isorischio e piani di rischio

In questa sezione si fa un rapido confronto tra le aree di tutela previste dai Piani di rischio e quelle delimitate dalle curve di isorischio, per il caso specifico della pista di progetto dell'aeroporto di Firenze. Il confronto è motivato dalla già citata richiesta da parte dell'ENAC di integrazione dei due strumenti. In Sez.3 si è già discusso la difficoltà concettuale di integrazione di due strumenti con finalità diversa: urbanistica nel caso dei Piani di rischio, e di tutela della popolazione del caso delle curve di isorischio. Essendo adesso equipaggiati con una forma almeno approssimativa ma realistica delle curve di isorischio, è possibile approfondire tale discussione.

In Fig. 7.1 si mostrano i piani di rischio sovrapposti alle curve di isorischio per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze. Le zone di tutela geometriche sono state disegnate seguendo il Regolamento dell'ENAC [15], mentre le curve isorischio sono quelle per lo scenario del 2029 calcolate nella sezione precedente.

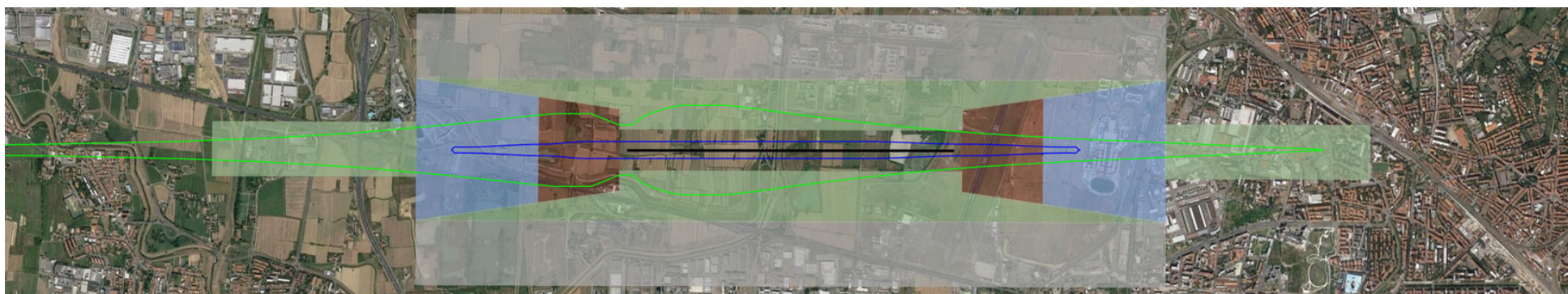


Figura 7.1. Sovrapposizione delle zone di tutela dei Piani di rischio e curve di isorischio al 2029 per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze. Le curve di isorischio sono le stesse di Fig. 6.3.

Va ricordato che la zona di tutela intermedia (delimitata dalla curva verde in Fig. 7.1) ha un livello di tutela analogo a quello delle Zone C dei piani di rischio (aree verdi), mentre la zona di tutela interna (delimitata dalla curva blu) ha un livello analogo alle Zone B (aree blu). Come si è discusso in Sez. 3, le misure di tutela non sono identiche, perchè la policy di attuazione dell'art. 715 prevede misure attive di contenimento e regressione del rischio per la popolazione. Ciò discende dal fatto che mentre il risk assessment che porta alle curve isorischio è quantitativo, l'analisi alla base dei Piani di rischio soltanto qualitativa. In altre parole, le curve di isorischio riproducono meglio delle zone di tutela geometriche il reale rischio per la popolazione in seguito ad incidenti aerei.

Il confronto mostra che per la pista di progetto dell'aeroporto di Firenze le zone di tutela geometriche tendono a sovrastimare il rischio nelle aree laterali ed in prossimità delle testate di pista. Da un certo punto di vista si potrebbe quindi pensare che le zone geometriche siano uno strumento più che sufficiente per la

tutela della popolazione. Da un altro punto di vista, però, ci si deve domandare quale sia l'opportunità di imporre limitazioni alle nuove attività ed allo sviluppo urbanistico in aree di territorio in cui il rischio reale non è tale da giustificarlo.

Dal confronto in Fig. 7.1 si vede anche che le zone geometriche tendono invece a sottostimare il rischio lungo l'asse della pista, a grande distanza dalla testata della pista utilizzata per i decolli e gli atterraggi. In tali area esse non sono quindi sufficienti per dare un'indicazione del rischio reale neanche in un aeroporto di dimensioni medie come quello di Firenze.

Tutti questi elementi contribuiscono a porre un interrogativo generale riguardo alla valenza delle zone di tutela dei Piani di rischio in confronto a quelle definite dalle curve isorischio. Un interrogativo particolare riguarda la necessità di mantenere lo strumento dei Piani di rischio una volta che siano state calcolate le curve di isorischio. Gli esempi di UK e Olanda spingono infatti a chiedersi se nei casi in cui sia stato effettuato il calcolo delle curve di isorischio secondo l'art. 715 non sarebbe forse più logico mantenere soltanto queste ultime zone di tutela.

Riguardo alle aree laterali alla pista, va notato che una recente sentenza del Consiglio di Stato ha confermato la necessità delle zone di tutela geometriche laterali secondo un principio di massima prudenza, che mira ad eliminare il rischio e non soltanto a ridurlo [21]. Appare pertanto chiara l'importanza di definire le curve isorischio e le relative zone di tutela anche nelle aree laterali.

Bibliografia

- [1] Variante al PIT della Regione Toscana in merito alla definizione degli obiettivi del Parco agricolo della Piana fiorentina ed alla qualificazione dell'Aeroporto di Firenze, "Aeroporto di Firenze, Valutazione delle due ipotesi con orientamento 09/27 e 12/302, a cura di ENAC (2012).
- [2] Policy di attuazione dell'articolo 715 del Codice della Navigazione, Circolare ENAC, 12 Gennaio 2010. https://www.enac.gov.it/La_Normativa/Normativa_Enac/Policy/info990581401.html
- [3] L. Attaccalite, P. Di Mascio, G. Loprencipe, C. Pandolfi, Risk Assessment Around Airport, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 53, 852 (2012).
- [4] Università degli Studi di Firenze, osservazioni presentate alla VIA, DVA-00_2015-0013977, DVA-00_2015-0027431 e DVA-00_2015-0032141.
- [5] ENAC – Toscana Aeroporti, integrazione presentata alla VIA, INT-GEN-00-REL-001.
- [6] ENAC – Toscana Aeroporti, integrazione presentata alla VIA, DVA-00_2015-0029510.
- [7] ENAC – Toscana Aeroporti, Masterplan 2014-2029, 01_RELAZIONE_TECNICA_GENERALE_SIA.
- [8] Evans, A. W., Foot, P. B. et al. Third Party Risk near Airports and Public Safety Zone Policy. June 1997. National Air Traffic Services Limited. R&D Report 9636. RDD File Reference 8CS/091/03/10.
- [9] Calculation of Third Party Individual Risk: Determining Public Safety Zones for Airports, Annex A, ERM report (2005).
<http://www.dttas.ie/sites/default/files/publications/aviation/english/erm-public-safety-zones-report/annex-calculation-third-party-individual-risks.pdf>
- [10] A.J. Pikaar, C.J.M. de Jong and J. Weijs, An enhanced method for the calculation of third party risk around large airports with application to Schiphol, NLR-CR-2000-147 (2000).
- [11] California Airport Land Use Planning Handbook, California Department of Transportation, (Shutt Moen Associates, Santa Rosa, 2002).
- [12] <http://www.caa.co.uk/Commercial-Industry/Airports/>
- [13] A Review and Statistical Modelling of Accidental Aircraft Crashes within Great Britain MSU/2014/07. www.onr.org.uk/documents/2015/tap-research-report.pdf
- [14] ACRP, Report 107, Development of a Runway Veer-Off Location Distribution Risk Assessment Model and Reporting Template, (2014). <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/170535.aspx>
- [15] Regolamento per la costruzione e l'esercizio degli aeroporti, ENAC
http://www.enac.gov.it/La_Normativa/Normativa_Enac/Regolamenti/Regolamenti_ad_hoc/info-1548018725.html
- [16] Relazione informativa del 3/3/2011, ENAC, Direzione Centrale Infrastrutture Aeroporti.

[17] <http://www.caa.co.uk/Data-and-analysis/UK-aviation-market/Airports/Datasets/UK-Airport-data/Airport-data-2015/>

[18] P. Di Mascio, M. Di Vito, F. Masucci, Probabilistic Distribution of Take-Off Accidents Around Airports, World Conference of Air Transport Research Society, Tainan, Taiwan (2012).

[19] P. Di Mascio, M. Di Vito, Probabilistic Distribution of Landing Accidents Around Airports, in World Conference of Air Transport Research Society, Bergamo, Italy, June 26-29, 2013.

[20] ENAC – Toscana Aeroporti, documentazione presentata alla VIA, tavola INT-AMB-04-TAV-001.

[21] Sentenza del Consiglio di Stato n. 1361/2016, Aprile 2016.