

Le Linee Guida contengono elementi di dettaglio di tipo interpretativo o procedurale per facilitare l'utente nella dimostrazione di rispondenza ai requisiti normativi. Sono generalmente associate a Circolari. Dato il loro carattere non regolamentare, i contenuti delle Linee Guida (LG) non possono essere ritenuti di per se obbligatori. Quando l'utente interessato sceglie di seguire le indicazioni fornite nelle LG, ne accetta esplicitamente le implicazioni sul proprio impianto organizzativo da esse come risultante ed esprime il proprio forte impegno a mantenersi aderente ad esse ai fini della continua rispondenza al requisito normativo interessato. I destinatari sono invitati ad assicurare che le presenti Linee Guida siano portate a conoscenza di tutto il personale interessato.

METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO IN OPERAZIONI RPAS PER AUTORIZZAZIONI E PERMESSI DI VOLO NON GEOGRAFICI. GUIDA APPLICATIVA

INDICE

RIFERIMENTI REGOLAMENTARI

APPLICABILITÀ

- 1. INTRODUZIONE**
- 2. SCOPO**
- 3. APPLICABILITA'**
- 4. DETERMINAZIONE DEL LIVELLO DI PROTEZIONE DELLE TERZE PARTI A TERRA**
- 5. ASSUNZIONI DEL MODELLO DI RISCHIO**
- 6. STIMA DELLA PROBABILITA' DI CADUTA**
- 7. AREA LETALE**
- 8. DENSITA' DI POPOLAZIONE**
- 9. APPLICAZIONE DEL MODELLO DI RISCHIO E DEFINIZIONE DEL PROFILO DI MISSIONE**
- 10. RIFERIMENTI**
- 11. ACRONIMI**

RIFERIMENTI REGOLAMENTARI	Paragrafo	Titolo
<i>Regolamento Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto, Edizione 2, Emendamento 2 del 22 dicembre 2016</i>	<i>Rif. Para. 3. della presente LG</i>	<i>Rif. Para. 3. della presente LG</i>

APPLICABILITÀ	
APT	<i>N.A.</i>
ATM	<i>N.A.</i>
EAL	<i>N.A.</i>
LIC	<i>N.A.</i>
MED	<i>N.A.</i>
NAV	<i>Operatori SAPR</i>
OPV	<i>N.A.</i>
SEC	<i>N.A.</i>

1. INTRODUZIONE

Le autorizzazioni o i permessi di volo (PTF) *non geografici* sono autorizzazioni o permessi di volo non legati ad una specifica area delle operazioni, individuata da precisi riferimenti geografici. Una autorizzazione non geografica o un permesso di volo non geografico non specifica quindi una determinata area geografica al disopra della quale poter condurre le operazioni ma ne specifica, invece, le caratteristiche, ad esempio in termini di densità abitativa, insieme ad alcune modalità operative come i profili di volo o i tempi massimi di sorvolo, definendo in tal modo uno specifico *scenario operativo*. Le autorizzazioni o permessi di volo non geografici permettono di operare su diverse aree geografiche aventi le medesime caratteristiche specificate nello scenario, con le medesime modalità operative.

2. SCOPO

La presente Guida Applicativa ha lo scopo di descrivere i principi su cui si basa la metodologia di analisi del rischio descritta in [2] fornendone una procedura applicativa semplificata, applicabile sotto le ipotesi descritte al successivo Paragrafo 5. Ogni scostamento da tali ipotesi o dai criteri sviluppati nella Metodologia dovrebbe essere discusso e concordato con l’Autorità. La presente Guida Applicativa, al pari della metodologia descritta in [2], rappresenta un metodo accettabile di rispondenza, ma non il solo metodo possibile, ai requisiti del Regolamento¹ [1] riportati nel successivo Paragrafo 3. e, in quanto tale, non riveste, di per sé, carattere di obbligatorietà.

3. APPLICABILITÀ

In generale la metodologia di analisi del rischio descritta in [2] può essere utilizzata nei seguenti ambiti:

- (i) per l’ottenimento di un permesso di volo per RPAS con massa operativa al decollo uguale o superiore a 25 kg per gli scopi di ricerca e sviluppo, dimostrazione di rispondenza e operazioni specializzate (Reg. Art. 15.2);

¹ Per brevità, a meno che sia esplicitamente indicato diversamente, nella presente Guida Applicativa con la parola “Regolamento” o con l’abbreviazione “Reg.” ci si riferirà al Regolamento [1] mentre con la parola “Metodologia” ci si riferirà al documento [2].

- (ii) per l'ottenimento di una autorizzazione per RPAS con massa operativa al decollo inferiore a 25 kg per lo svolgimento di attività sperimentali per scopo di ricerca e sviluppo (Reg. Art. 8.10);
- (iii) per l'ottenimento di una autorizzazione per RPAS con massa massima al decollo inferiore a 25 kg per lo svolgimento di operazioni specializzate critiche (Reg. Art. 11.1);
- (iv) per l'ottenimento di un certificato di progetto per un RPAS con massa massima al decollo inferiore a 25 kg (Reg. Art. 13.2).

La Metodologia rappresenta, inoltre, uno strumento di analisi del rischio utilizzabile dall'operatore per lo sviluppo della documentazione a supporto della dichiarazione per RPAS con massa operativa al decollo inferiore a 25 kg nel caso di operazioni specializzate non critiche (Rif. Reg. Art. 9.4 e Art. 11.8) e per la valutazione del rischio legato all'attività sperimentale propedeutica alle operazioni (critiche o non critiche) in accordo al Reg. Art. 11.2 e Art. 11.5.

Le successive Tabelle 1, 2, 3, 4, 5, 6 descrivono in dettaglio in che modo la Metodologia può essere utilizzata, come metodo accettabile, per dare rispondenza a certi requisiti del Regolamento.

TABELLA 1

Schema generale di utilizzo della Guida Applicativa per la rispondenza al Regolamento

RPAS < 25 kg	Attività sperimentale		Tabella 2	Art. 8 comma 10 Art. 11 comma 5 Art. 11 comma 8
	Operazioni Specializzate	Non critiche	Tabella 3	Art. 9 comma 3 Art. 9 comma 4 Art. 11 comma 8
		Critiche	Tabella 4	Art. 10 comma 3
	Certificato di Progetto		Tabella 5	Art. 13 comma 2
RPAS ≥ 25 kg	PTF		Tabella 6	Art. 15. Comma 3 Art. 15. Comma 4 Art. 15. Comma 7

3.1 RPAS CON MASSA MASSIMA OPERATIVA < 25 kg

TABELLA 2

RPA < 25 kg Attività sperimentale (per Ricerca & Sviluppo o Attività sperimentale propedeutica)			
Art.	Comma	Requisito	Rispondenza
8	10	<i>L'effettuazione dell'attività per lo scopo "ricerca e sviluppo", è soggetta ad autorizzazione da parte dell'ENAC</i>	Sebbene l'attività sperimentale propedeutica debba essere condotta in aree non popolate è possibile che il <i>buffer</i> ² includa aree a densità di popolazione non nulla. In questo caso la metodologia può essere utilizzata sia per la determinazione del <i>buffer</i> (rif. Metodologia Appendice B) sia per l'analisi del rischio nell'area di <i>buffer</i> nel caso in cui questa abbia densità di popolazione diversa da zero.
11	5	<i>L'attività sperimentale propedeutica è condotta in aree non popolate</i>	
11	8	<i>Per ottenere l'Autorizzazione, l'operatore (...) Alla domanda allega la documentazione contenente: (...) d) i risultati dell'analisi del livello di rischio associato alle operazioni previste, eseguita al fine di sostanziare la sicurezza delle stesse; (...) g) il manuale delle operazioni, inclusa la descrizione delle modalità di valutazione e gestione del rischio</i>	I risultati dell'analisi del livello di rischio associato alle operazioni da allegare alla domanda, in virtù del punto d), dovrebbero includere, per come applicabile, anche i risultati provenienti dall'applicazione della Metodologia. Inoltre i criteri, le assunzioni e i metodi utilizzati per implementare la Metodologia dovrebbero essere descritti nel manuale delle operazioni, come previsto dal punto g).

² Il concetto di *buffer* è definito al Para. 5 – Assunzione (A2)

TABELLA 3

RPA < 25 kg			
Operazioni Specializzate Non Critiche			
Art.	Comma	Requisito	Rispondenza
9	3	<i>L'operatore è responsabile di valutare il rischio associato alle operazioni ed il permanere delle condizioni che fanno ritenere non critiche le operazioni</i>	La Metodologia può essere utilizzata per valutare il rischio per le terze parti a terra posto dalle operazioni svolte al di sopra di aree popolate, per verificare l'adeguatezza di tale livello di rischio e per definire le condizioni e le limitazioni idonee a garantire, con sufficiente confidenza, il non superamento dei livelli di rischio considerati accettabili. In particolare questo consente di verificare il permanere delle condizioni che fanno ritenere non critiche le operazioni in base alla definizione fornita dall'Art. 9 comma 1. Occorre notare che per essere considerate "non critiche" le operazioni devono essere svolte necessariamente in VLOS (Rif. Art. 9 comma 1), ciononostante la definizione non vieta che le operazioni non critiche possano essere condotte anche al disopra di aree popolate (seppur non al disopra di aree congestionate, assembramenti di persone o agglomerati urbani, peraltro esclusi anche dalla Metodologia); inoltre, al fine di poter continuare ad essere ritenute tali, le operazioni non critiche devono essere tali da garantire che le aree sorvolate, anche in caso di avarie e malfunzionamenti, abbiano le caratteristiche richieste dalla definizione di operazioni non critiche (Art. 9 comma 1). Pertanto la Metodologia può essere applicata, sia per valutare l'adeguatezza del rischio di operazioni non critiche in VLOS effettuate su aree a densità di popolazione non nulla, sia ai fini della determinazione del <i>buffer</i> in caso di avarie e malfunzionamenti (rif. Metodologia Appendice B).
9	4	<i>L'operatore deve possedere e mantenere aggiornata la documentazione prevista all'art.11 comma 8 come applicabile</i>	I risultati dell'analisi del livello di rischio associato alle operazioni, da allegare alla domanda in virtù del punto d), dovrebbero includere anche i risultati provenienti dall'applicazione della Metodologia, per quanto applicabili. Inoltre i criteri, le assunzioni e i metodi utilizzati per implementare la Metodologia dovrebbero essere descritti nel manuale delle operazioni, come previsto dal punto g).
11	8	<i>Per ottenere l'Autorizzazione, l'operatore presenta all'ENAC specifica domanda nella quale attesta la rispondenza alle sezioni applicabili del presente Regolamento e indica le condizioni e i limiti applicabili alle operazioni di volo previste, inclusa, eventualmente, la necessità di operare in spazi aerei segregati. Alla domanda allega la documentazione contenente: (...) d) i risultati dell'analisi del livello di rischio associato alle operazioni previste, eseguita al fine di sostanziare la sicurezza delle stesse; (...) g) il manuale delle operazioni, inclusa la descrizione delle modalità di valutazione e gestione del rischio.</i>	

TABELLA 4

RPA < 25 kg Operazioni specializzate critiche			
Art.	Comma	Requisito	Rispondenza
10	3	<i>Le operazioni specializzate critiche possono essere condotte ove sia assicurato un livello di sicurezza coerente con l'esposizione al rischio, con riferimento alle operazioni dell'aviazione generale. Il livello di sicurezza di tali operazioni è determinato dall'insieme dei contributi forniti dal SAPR, dal pilota, dalle procedure operative e di gestione delle attività di volo, dalle condizioni ambientali e dagli altri elementi essenziali per determinare un impiego sicuro di tali mezzi, inclusa la corretta attuazione del programma di manutenzione. Il sistema nel suo complesso deve pertanto assicurare un livello di affidabilità minimo compatibile con il quadro sopra delineato e adeguato al conseguimento di appropriati livelli di sicurezza in relazione alla tipologia di operazioni</i>	La Metodologia può essere utilizzata per dare rispondenza all'Art. 10.3 in quanto essa assume un livello di sicurezza coerente con l'esposizione al rischio riferito alle operazioni dell'aviazione generale e stabilisce le relative soglie accettabili di rischio; inoltre essa tiene conto dell'affidabilità complessiva del sistema RPAS includendo implicitamente tutti i fattori di rischio legati al <i>design</i> e alle operazioni.

TABELLA 5

RPA < 25 kg Certificato di Progetto			
Art.	Comma	Requisito	Rispondenza
13	2	<i>Il certificato di progetto può essere emesso (...) a condizione che il costruttore abbia: (...) c) condotto tutte le analisi e le prove necessarie per stabilire le condizioni e limitazioni per dimostrare il livello di sicurezza in funzione dello scenario previsto</i>	La Metodologia può essere utilizzata per dimostrare un adeguato livello di sicurezza per le terze parti al suolo durante le operazioni al di sopra di aree popolate (incluso il relativo <i>buffer</i> – rif. Metodologia Appendice B) previste dagli scenari considerati nella certificazione di progetto.

3.2 RPAS CON MASSA MASSIMA OPERATIVA \geq 25 kg

In base all'Art. 15 comma 1 un RPAS con massa massima operativa uguale o superiore a 25 kg può essere ammesso alla navigazione se è dotato di un Permesso di Volo (PTF) o di un Certificato di Navigabilità Ristretto. Inoltre, in accordo all'Art. 15 comma 2, un PTF può essere emesso per i seguenti scopi:

- Sperimentazione per ricerca e sviluppo, oppure
- Sperimentazione per rispondenza alla base di certificazione, oppure
- Operazioni specializzate.

TABELLA 6

RPA \geq 25 kg Permesso di Volo			
Art.	Comma	Requisito	Rispondenza
15	3	<i>Il Permesso di Volo specifica le condizioni e/o limitazioni, nell'ambito delle quali devono essere condotte le operazioni, esse includono anche le applicabili limitazioni riguardanti le tipologie delle aree di operazioni.</i>	La Metodologia può essere utilizzata per stabilire le condizioni e le limitazioni del PTF (qualunque sia lo scopo) nell'ambito delle quali devono essere condotte le operazioni con riferimento, in particolare, alle tipologie di aree sorvolabili nel corso delle operazioni in funzione del livello di rischio posto dalle operazioni stesse.
15	4	<i>Per ottenere il Permesso di Volo per l'attività sperimentale di cui al comma 2a, il proprietario del SAPR deve presentare domanda all'ENAC fornendo la documentazione necessaria per sostanziare la capacità del sistema di svolgere l'attività sperimentale in sicurezza. L'attività sperimentale deve essere condotta in aree di densità adeguata in relazione alla esposizione al rischio. (...).</i>	La Metodologia può essere utilizzata per sviluppare l'analisi del rischio per le terze parti a terra richiesta dal comma 15.4 come parte della "documentazione necessaria per sostanziare la capacità del sistema di svolgere l'attività sperimentale in sicurezza" e per sostanziare che l'attività sperimentale viene condotta "in aree di densità adeguata in relazione alla esposizione al rischio".
15	7	<i>Il Permesso di Volo per operazioni specializzate è rilasciato dall'ENAC al termine positivo degli accertamenti necessari a verificare che le operazioni previste possono essere condotte con un livello di sicurezza adeguato.</i>	La Metodologia può essere utilizzata per sostanziare che le operazioni previste nell'ambito del PTF possono essere condotte con un livello di sicurezza adeguato per le terze parti a terra.

4. DETERMINAZIONE DEL LIVELLO DI PROTEZIONE DELLE TERZE PARTI A TERRA

Lo scopo della Metodologia è fornire un criterio di valutazione del rischio per le terze parti a terra dovuto alle operazioni di un RPAS. Il criterio utilizzato tiene conto sia delle caratteristiche del sistema RPAS sia di fattori operativi come la densità di popolazione delle aree sorvolate e i tempi massimi di sorvolo di queste aree. Il criterio si applica a scenari operativi generali non necessariamente vincolati ad una specifica area geografica. L'obiettivo di *safety* da utilizzare per valutare l'accettabilità del rischio calcolato è dato dal parametro E_c definito come **numero medio di *casualties* per missione** accettabile. Una *casualty* è definita come una *fatality* (decesso di una persona) o una *serious injury* (incidente grave). E_c rappresenta dunque il massimo rischio accettabile per missione. Il rischio calcolato (R_c) è il **rischio per missione medio**; esso dipende da parametri operativi come la densità di popolazione dell'aerea sorvolata, il tempo di sorvolo di una data area, l'area letale³ dell'RPA e l'affidabilità complessiva dell'RPAS. Il rischio calcolato R_c non deve essere superiore al rischio accettabile E_c , il che si traduce nella condizione: $R_c \leq E_c$. Calcolando il rischio medio e applicando poi questa condizione è possibile effettuare una valutazione del **livello di protezione** delle terze parti a terra. Per fare ciò vengono definiti due valori numerici⁴ per il parametro E_c (ovvero: $E_{c1} = 3 \cdot 10^{-5}$ ed $E_{c2} = 2 \cdot 10^{-4}$ *casualties* per missione) utilizzati, come spiegato successivamente, a seconda della tipologia delle limitazioni e delle condizioni imposte alle operazioni⁵. Il valore più basso dell'obiettivo di sicurezza (E_{c1}) è ritenuto adeguato per minimizzare il rischio per le terze parti a terra nel corso di una missione quando è utilizzato nell'analisi di rischio insieme alle **mitigazioni standard** tipiche di ogni permesso di volo (Rif. [3]). Il valore più alto dell'obiettivo di sicurezza (E_{c2}) rappresenta un limite sotto cui non si dovrebbe scendere ed è ritenuto

³ Rif. Para. 7.

⁴ I valori numerici E_{c1} ed E_{c2} possono variare in base a considerazioni e valutazioni da parte dell'Autorità.

⁵ La Metodologia considera due tipologie di mitigazioni chiamate rispettivamente: "*mitigazioni standard*" e "*mitigazioni specifiche*". Entrambe queste tipologie di mitigazioni sono legate allo scenario operativo considerato in quanto contribuiscono a definirlo; esse sono concordate con l'Autorità. Le mitigazioni specifiche definiscono più in dettaglio, rispetto a quelle standard, lo scenario operativo nel quale possono essere svolte le operazioni. Alcuni esempi di possibili mitigazioni specifiche sono: (i) un piano di controllo del territorio, da concordare con gli enti locali interessati, che garantisca il mantenimento di certe caratteristiche come ad esempio una certa densità media di popolazione in una certa zona oppure la segregazione di certe aree, strade, etc. ; (ii) accordi con i servizi di controllo del traffico aereo, la polizia locale, i Vigili del Fuoco, la Guardia Costiera e altri Enti agenti sul territorio; (iii) limitazioni temporali tipo giorno/notte, inverno/estate; (iv) procedure di *emergency recovery* in aree di *recovery* predeterminate; (v) *sheltering*.

adeguato per minimizzare il rischio per le terze parti a terra quando è utilizzato nell'analisi di rischio insieme alle **mitigazioni standard** e insieme alle ulteriori **mitigazioni specifiche**. Il **livello di protezione** delle terze parti a terra viene quindi classificato come BUONO, ADEGUATO o INADEGUATO (Figura 1). Se viene rispettato l'obiettivo E_{c1} (ovvero se $R_c \leq E_{c1}$) il livello di protezione è classificato come BUONO; se viene rispettato l'obiettivo E_{c2} ma non l'obiettivo E_{c1} (ovvero se $E_{c1} < R_c \leq E_{c2}$) il livello di protezione è classificato come ADEGUATO; se, infine, non viene rispettato l'obiettivo E_{c2} (ovvero se $R_c > E_{c2}$) il livello di protezione è classificato come INADEGUATO. Un livello di protezione è ritenuto accettabile quando risulta BUONO oppure ADEGUATO. Se il livello di protezione è BUONO le **mitigazioni standard** sono sufficienti e non sono necessarie mitigazioni specifiche ulteriori. Se invece il livello di protezione è ADEGUATO allora vanno considerate, in aggiunta alle mitigazioni standard, anche ulteriori **mitigazioni specifiche** maggiormente legate alla tipologia delle operazioni e alle specifiche caratteristiche dell'area delle operazioni (Rif. nota 6). Sia le mitigazioni standard sia le mitigazioni specifiche devono essere concordate con l'Autorità a meno di accordi specifici tra il richiedente l'autorizzazione o il PTF e l'Autorità stessa. Se il livello di protezione è INADEGUATO non è raccomandato, in generale, il rilascio di una autorizzazione o di un permesso di volo non geografici⁶.

Riassumendo, per ottenere una autorizzazione o un permesso di volo non geografici, in accordo alla Metodologia, occorre:

- (1) dimostrare che $R_c \leq E_{c1}$ e definire delle *mitigazioni standard*, oppure
- (2) dimostrare che $R_c \leq E_{c2}$ e definire delle *mitigazioni standard* e delle *mitigazioni specifiche*.

In Tabella 7 è riportata la procedura sopra descritta (vedere anche il digramma di flusso in Figura 1)

⁶ In tal caso dovrebbero essere definite modifiche tecniche e/o operative o limitazioni aggiuntive in maniera tale da riportare il livello di protezione ad un livello accettabile (ovvero BUONO o ADEGUATO).

TABELLA 7

Procedura di applicazione della Metodologia di analisi del rischio

Step 1	Definisci le mitigazioni standard a livello di progettazione, produzione, operazioni, piloti, e organizzazioni (ad es. di progettazione, di produzione, di manutenzione, di addestramento)
Step 2	Assumi un obiettivo di sicurezza $E_c=E_{c1}$
Step 3	Applica la Metodologia (con $P_c=1$ oppure con $P_c<1$) per calcolare il rischio R_c
Step 4	Confronta in rischio calcolato con l'obiettivo selezionato: $R_c \leq E_c ?$
Step 5	Valuta: se $R_c \leq E_c$ allora OK FINE, altrimenti
Step 6	Valuta: se $E_{c2} > R_c > E_c$ allora:
Step 6.1	Modifica il progetto, le operazioni e le mitigazioni standard (ad esempio in maniera tale da ottenere una probabilità di caduta $P_c < 1$ più piccola della precedente), oppure in alternativa
Step 6.2	Prevedi ulteriori misure di mitigazione specifiche applicabili all'area delle operazioni e scegli un obiettivo E_c tale che: $E_{c1} < E_c \leq E_{c2}$
Step 6.3	Torna allo Step 3
Step 7	Valuta: se $R_c > E_{c2}$ allora non è raccomandata l'emissione di una autorizzazioni o PTF non geografici.

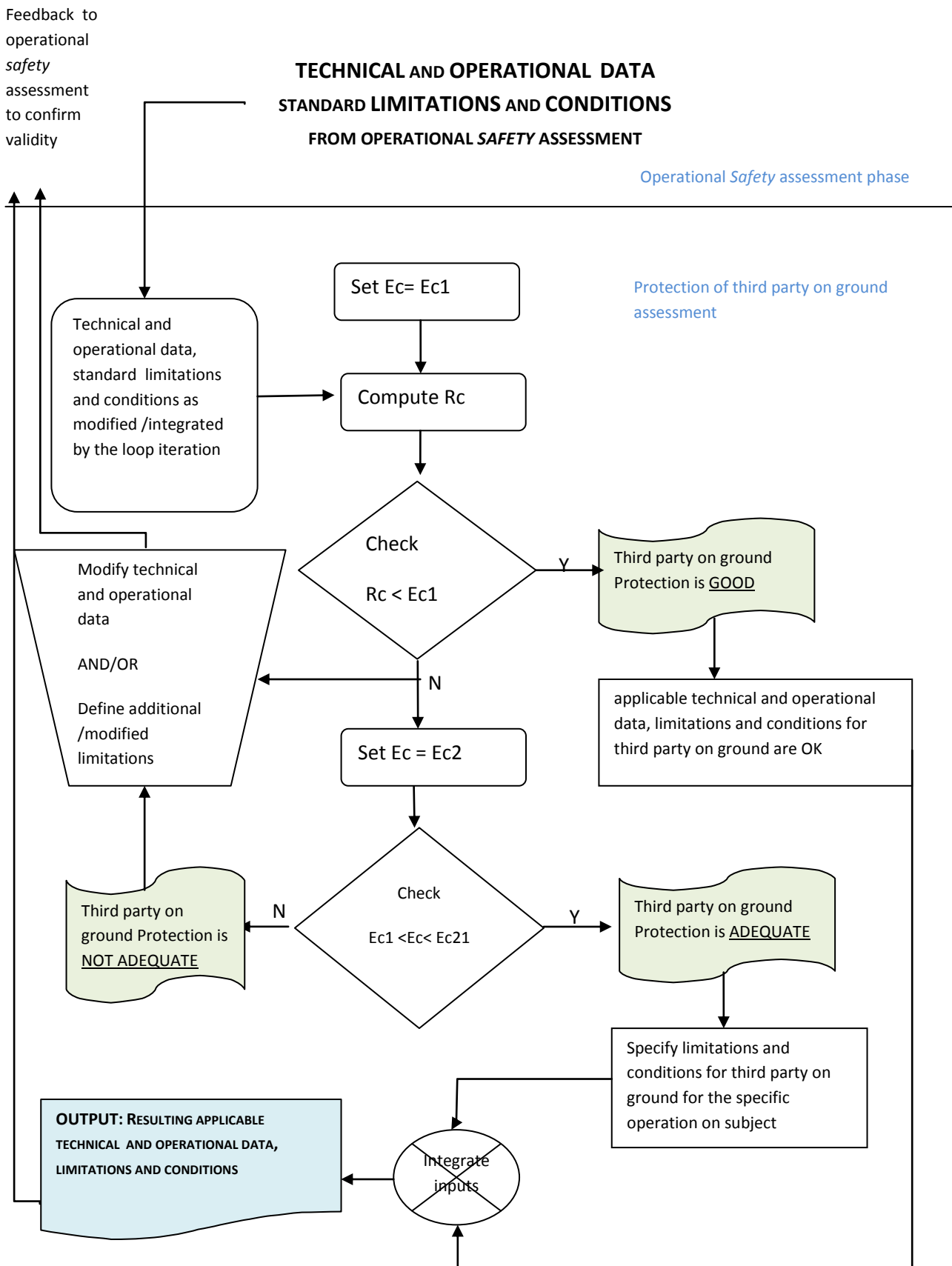


FIGURA 1 – Diagramma di flusso per l’applicazione della Metodologia di analisi del rischio

5. ASSUNZIONI DEL MODELLO DI RISCHIO

Di seguito sono riportate le assunzioni e le ipotesi alla base del modello di rischio utilizzato dalla Metodologia. Qualora tali assunzioni e ipotesi non siano completamente verificate o non siano ritenute adeguate per il concreto caso in esame, l'utilizzo del modello di rischio dovrà essere discusso e concordato con l'Autorità.

(A1) Densità di popolazione. L'area delle operazioni viene suddivisa in sotto aree caratterizzate da densità di popolazione uniforme⁷ A_i ($i = 1, \dots, m$).

(A2) Buffer. Il *buffer* corrispondente ad una specifica area delle operazioni è definito come la zona esterna all'area nominale delle operazioni⁸ entro cui l'RPA può cadere in caso di avarie o malfunzionamenti singoli⁹ che avvengano all'interno dell'area nominale delle operazioni. Una certa zona di *buffer* è associata ad una certa area (o sotto area) delle operazioni con densità di popolazione uniforme se l'RPA può cadere all'interno di quella zona di *buffer* uscendo da quella specifica area (o sotto area) delle operazioni (Figura 2). Vi possono essere quindi diverse zone di *buffer* associate a diverse aree delle operazioni. Ogni zona di *buffer* associata ad una area delle operazioni (con densità di popolazione uniforme) è supposta avere la stessa densità di popolazione dell'area delle operazioni cui è associata¹⁰.

⁷ Rif. Para. 8.

⁸ L'area nominale delle operazioni è l'area al di sopra della quale sono autorizzate le operazioni normali. In caso di emergenza è possibile la fuoriuscita dall'area nominale delle operazioni ma non la fuoriuscita dall'area di *buffer* (a meno di eventi poco probabili dovuti ad avarie o malfunzionamenti multipli). Nella presente Guida Applicativa, per brevità, qualora non diversamente specificato, con l'espressione "area delle operazioni" si intende "area nominale delle operazioni".

⁹ La fuoriuscita dal *buffer* in caso di avarie o malfunzionamenti doppi o multipli è ritenuta generalmente accettabile, a meno che la probabilità di fuoriuscita dal *buffer* per tali cause multiple non sia trascurabile; in tal caso eventuali misure di mitigazione dovranno essere concordate con l'Autorità.

¹⁰ Questa assunzione è giustificata dal fatto che mediante la Metodologia viene determinato un tempo massimo T_i di sorvolo di una certa area delle operazioni A_i con densità di popolazione uniforme D_i in modo che il numero medio R_i di *casualties* durante le operazioni sopra l'area A_i nel tempo T_i sia pari a $R_i = P_{ci} \cdot A_{ci} \cdot D_i$ dove P_{ci} è la probabilità di cadere a terra durante la fase di volo al disopra dell'area A_i e A_{ci} è l'area letale nella fase di volo considerata (rif. Para. 9). Poiché per la definizione di *buffer* "associato ad una data area delle operazioni di densità di popolazione uniforme", in caso di avaria o malfunzionamento nella fase di volo al disopra dell'area A_i vi è la possibilità che l'RPA cada all'interno dell'area di *buffer* associata (B_i), per la consistenza del modello adottato, il *buffer* B_i dovrà avere la stessa densità di popolazione D_i dell'area A_i . Se così non fosse e se, ad esempio, il *buffer* associato B_i avesse una densità di popolazione maggiore, in caso di caduta dell'RPA all'interno di esso il numero medio di *casualties* sarebbe maggiore di quello calcolato considerando la densità D_i . L'assunzione **(A2)** potrebbe essere verificata mediante una opportuna delimitazione delle aree nominali delle operazioni.

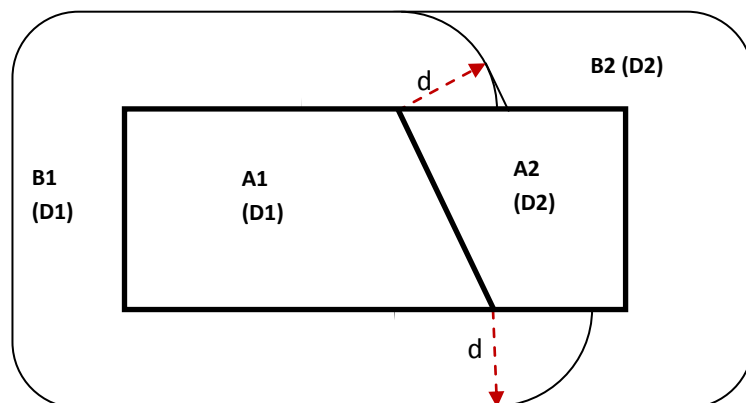


FIGURA 2 – Esempio di definizione delle zone di buffer B1 e B2 associate alle delle operazioni A1 e A2 di densità di popolazione uniforme rispettivamente pari a D1 e D2 (con $D1 < D2$). Si è supposto che in caso di escursione dalle aree nominali delle operazioni A1 e A2 l'RPA possa percorrere in senso rettilineo una distanza massima d prima di cadere a terra. Le due zone di buffer B1 (di densità minore D1, come l'area A1) e B2 (di densità maggiore D2, come l'area A2) sono state determinate imponendo, conservativamente, che un'escursione dell'RPA dall'area A1 a bassa densità (D1) non lo porti a cadere nella zona di buffer B2 a densità maggiore (D2) in quanto in tal caso verrebbero violate le ipotesi del modello perché il rischio calcolato legato al sorvolo dell'area A1 ($P_{c1} \cdot A_c \cdot D1$) sarebbe inferiore a quello effettivo ($P_{c1} \cdot A_c \cdot D2$). D'altro canto una escursione dalla zona ad alta densità A2 all'interno del buffer a bassa densità B1 può essere accettata in quanto in tal caso il rischio calcolato legato al sorvolo dell'area A2 ($P_{c2} \cdot A_c \cdot D2$) sarebbe superiore a quello effettivo ($P_{c2} \cdot A_c \cdot D1$) – condizione conservativa.

(A3) Probabilità di caduta. La probabilità di caduta P_c dell'RPA è la probabilità che si verifichi un evento (dovuto sia a cause tecniche sia a cause operative) che porti ad una perdita di controllo dell'RPA e ad una sua conseguente caduta incontrollata a terra. Tale probabilità è considerata uniforme¹¹. In base a tale assunzione la probabilità $P_c^{(j)}$ di avere un evento che porti ad una caduta incontrollata a terra nella j-esima fase di volo ($j = 1, \dots, N$ dove N è il numero di fasi di volo in cui è stata suddivisa la missione¹²) è la stessa per ogni

¹¹ Nel caso in cui l'assunzione **(A3)** di probabilità uniforme su tutte le aree sorvolate nel corso della missione non possa essere assunta perché non giustificata o perché ritenuta comunque non adeguata, il modello di rischio da utilizzare nell'analisi deve essere quello fornito dalla formula (21) di [2] o dalla formula (40) di [2] nel caso in cui l'ipotesi di uniformità possa essere ritenuta ancora valida all'interno di ogni singola fase di volo.

¹² Occorre notare che ad una certa fase di volo j ($j = 1, \dots, N$) possono corrispondere in generale diverse aree delle operazioni di densità di popolazione uniforme. Si pensi ad esempio ad una fase di crociera in cui l'RPA sorvola aree a diversa densità di popolazione.

fase di volo j , ovvero: $P_c^{(1)} = P_c^{(2)} = \dots = P_c^{(N)} = P$. In tal caso la probabilità di caduta nel corso dell'intera missione è pari a $P_c = N \cdot P$.

(A4) Area letale. L'area letale di un RPA può essere definita come la sua impronta letale efficace a terra in caso di caduta incontrollata dell'RPA (Rif. Para. 7); essa può variare durante il volo a causa di versi fattori come il consumo di carburante, il cambiamento di geometria o il differente angolo di volo all'impatto (Rif. Para. 7). Si assume che le aree letali A_{ci} relative al volo al disopra delle varie aree operative A_i ($i = 1, \dots, m$) siano tutte uguali¹³, ovvero: $A_{c1} = A_{c2} = \dots = A_{cm} = A_c$. L'area letale A_c del'RPA è quindi considerata costante durante tutto il volo.

6. STIMA DELLA PROBABILITÀ DI CADUTA

La probabilità di caduta P_c nel corso della missione può essere stimata mediante vari metodi; di seguito se ne riportano alcuni.

- i) Stima basata sulla affidabilità del progetto (sia dei sistemi che delle strutture) con ulteriori considerazioni che permettano di passare dalla affidabilità del sistema legata ai soli aspetti progettuali alla affidabilità complessiva del sistema dovuta, oltre che a cause progettuali, anche a cause operative, produttive, manutentive etc. Ad esempio se N_{ops} è il numero delle occorrenze registrate di perdita di controllo (con conseguente impatto a terra) dovute a cause operative, $N_{failure}$ è il numero delle occorrenze registrato dovuto a cause tecniche (per avarie o malfunzionamenti di sistemi o strutture) e se $N_{tot} = N_{ops} + N_{failure}$ è il numero totale delle occorrenze registrate, in alcuni casi potrebbe essere noto che il numero di eventi dovuti a cause tecniche può essere considerato come una certa percentuale nota $k = N_{failure}/N_{tot}$ degli eventi totali. In tal caso è possibile esprimere la probabilità P_c in maniera proporzionale alla probabilità di un evento catastrofico dovuto a cause tecniche come: $P_c = P_{failure}/k$. I dati di affidabilità dei componenti utilizzati per la stima della probabilità $P_{failure}$ dovrebbero essere sufficientemente accurati.

¹³ Una scelta conservativa consiste nel considerare nel calcolo del rischio l'area letale massima tra quelle associate alle varie fasi di volo sopra le zone di densità D_i , ovvero: $A_c = \max \{A_{c1}, \dots, A_{cm}\}$.

- ii) Stima basata sui dati storici di volo dell'RPAS considerato (o di RPAS simili) operante in scenari uguali o simili a quelli considerati, in maniera da contare sempre gli eventi occorsi in condizioni operative paragonabili. Ad esempio, indicando con n il numero degli eventi di caduta incontrollata a terra avutisi nel corso di un numero N_{miss} di missioni simili già effettuate, la probabilità P_c può essere stimata come¹⁴:
- $$P_c = (n + 1)/(N_{miss} + 2).$$
- iii) In mancanza di informazioni è sempre possibile assumere conservativamente: $P_c = 1$.

7. AREA LETALE

L'area letale A_c di un RPA è quell'area tale per cui ogni persona al suo interno subirebbe almeno un danno grave (*casualty*) a causa dell'impatto diretto con l'RPA, con sue parti o detriti proiettati o perché investita da un'onda di pressione pericolosa causata da una esplosione (danno al timpano); A_c può quindi essere considerata come l'impronta efficace a terra dell'RPA in caso di *crash*. L'area letale A_c (espressa in piedi quadrati, ft^2) può essere determinata mediante la seguente formula¹⁵ (che assume un angolo di inclinazione della traiettoria all'impatto pari a 45°):

$$(1) \quad A_c = 84(1 + 0.5 \cdot L) + 22(1 + 0.5 \cdot L)^2 + 5.12 \cdot f \cdot (V)^{2/3}$$

Dove L è la dimensione massima dell'RPA espressa in piedi [ft], V è il volume di carburante in litri e f è la probabilità stimata che si abbia l'esplosione del serbatoio di carburante all'impatto (f è quindi un coefficiente che può variare tra zero ed 1).

8. DENSITÀ DI POPOLAZIONE

I dati per stimare la densità di popolazione di una zona dovrebbero essere ottenuti da un *data base* riconosciuto dall'Autorità. La zona delle operazioni viene suddivisa in regioni caratterizzate da densità di popolazione uniforme a meno di diverse considerazioni legate alla specificità del profilo di volo (ad esempio nel caso di volo rettilineo a velocità costante) da concordare con l'Autorità. Un criterio possibile per considerare la una certa regione

¹⁴ Stima bayesiana.

¹⁵ La formula (1) dell'area letale è definita in [2] secondo criteri conservativi. Diverse espressioni dell'area letale A_c possono essere concordate con l'Autorità ed utilizzate.

dell'area delle operazioni come avente densità di popolazione uniforme è che lo scarto quadratico medio della densità di popolazione su questa regione sia inferiore ad 1 abitante per km².

9. APPLICAZIONE DEL MODELLO DI RISCHIO E DEFINIZIONE DEL PROFILO DI MISSIONE

In generale il numero medio di *casualty* per missione¹⁶ R_c , cioè il rischio calcolato per missione, non deve superare il valore massimo accettabile E_c (obiettivo di *safety*). Il rischio R_c è calcolato come la probabilità che l'RPA cada a terra in maniera incontrollata *nel corso della missione*¹⁷ P_c moltiplicata per il numero medio di persone N_c all'intero dell'area letale dell'RPA A_c , ovvero: $R_c = P_c \cdot N_c$. Nel caso in cui l'area delle operazioni abbia densità di popolazione uniforme D , il numero medio di persone N_c all'interno dell'area letale è dato dal prodotto della densità di popolazione D moltiplicata per l'area letale, ovvero: $N_c = A_c \cdot D$. Deve essere rispettata pertanto la seguente condizione: $R_c = P_c \cdot A_c \cdot D \leq E_c$. Nel caso in cui l'area delle operazioni non abbia una densità di popolazione uniforme¹⁸ è sempre possibile suddividere tale area in un certo numero di aree A_1, A_2, \dots, A_m cui vengono associate, rispettivamente, le densità di popolazione uniformi: D_1, D_2, \dots, D_m e le probabilità di caduta¹⁹: $P_{c1}, P_{c2}, \dots, P_{cm}$. Il rischio totale R_c sarà allora calcolato come la somma dei rischi relativi a tutte le aree sorvolate di densità uniforme. Le condizioni da verificare diventano: $R_c = P_{c1}A_cD_1 + \dots + P_{cm}A_cD_m \leq E_c$ con la condizione sulle probabilità: $P_{c1} + \dots + P_{cm} = P_c$. Nel caso in cui la probabilità di caduta per missione sia distribuita in

¹⁶ Il modello di rischio non cambia qualora si esprima l'obiettivo di *safety* in termini di numero medio di *casualties* per ora di volo invece che per missione. In generale l'obiettivo di *safety* espresso per ora di volo avrà un valore numerico diverso da quello espresso per missione, in modo che sia comunque coerentemente preservato il valore medio di *casualties* per missione. Qualora si voglia passare da un obiettivo di *safety* per missione ad un obiettivo di *safety* per ora di volo occorrerà ipotizzare una **durata media rappresentativa** della missione. Ad esempio Se $E_c = 3 \cdot 10^{-5}$ *casualties* per missione e la durata media rappresentativa della missione è pari a 10 minuti, l'obiettivo di *safety* in termini di ore di volo diventa: $3 \cdot 10^{-5}$ *casualties*/missione x 6 missioni/FH = $1.8 \cdot 10^{-4}$ *casualties*/FH.

¹⁷ La probabilità di perdita di controllo con conseguente impatto a terra è espressa in termini di affidabilità complessiva del sistema cioè come probabilità di un evento che comporti la caduta incontrollata a terra dell'RPA, sia esso dovuto a *failure* del sistema, a suoi malfunzionamenti o a cause operative, di produzione, di manutenzione, etc.

¹⁸ In mancanza di specifiche linee guida il criterio di uniformità della densità di popolazione nell'area delle operazioni e i conseguenti criteri di suddivisione dell'area nominale delle operazioni devono essere concordati con l'Autorità.

¹⁹ P_{ci} è la probabilità che l'RPA cada in maniera incontrollata sull'area A_i .

maniera uniforme sulle aree sorvolate, in assenza di migliori elementi di valutazione (come informazioni specifiche, analisi, sperimentazioni dedicate, esperienza su casi simili, dati di letteratura, etc.) è possibile assumere le probabilità di caduta $P_{c1}, P_{c2}, \dots, P_{cm}$ proporzionali, rispettivamente, ai tempi di sorvolo T_1, T_2, \dots, T_m delle aree A_1, A_2, \dots, A_m . Tale scenario è coerente, ad esempio, con una situazione in cui il contributo principale alla perdita di controllo dell'RPAS deriva da guasti sistematici (inclusi errori operativi o comunque che si ripetano con indipendenza dalla durata temporale). Poiché tipicamente la probabilità di caduta è più alta nelle fasi di decollo e atterraggio il modello basato sulla diretta proporzionalità della probabilità di caduta dal tempo di sorvolo è adatto agli scenari in cui il decollo e l'atterraggio dell'RPA avvengono in aree segregate e non popolate (ad eccezione del personale necessario per le operazioni). Sotto queste ipotesi la probabilità di caduta P_{ci} nell'area A_i si esprime come: $P_{ci} = P_c \cdot T_i / T$ dove T è tempo totale di volo nel corso della missione. La condizione di rischio da imporre diventa in tal caso²⁰ (modello semplificato):

$$(2) \quad D_1 \cdot T_1 + \dots + D_m \cdot T_m \leq (E_c \cdot T) / (P_c \cdot A_c)$$

La precedente condizione deve essere risolta insieme alle naturali condizioni di congruenza: $T_1 + \dots + T_m = T$, $T_1 \geq 0, \dots, T_m \geq 0$ che esprimono il fatto che la somma dei tempi parziali di sorvolo delle aree deve essere uguale al tempo totale di missione e che i tempi parziali di sorvolo devono essere positivi o nulli. La condizione (2) permette di pianificare la missione in maniera tale che l'RPA voli per un tempo massimo T_1 sopra l'area A_1 di densità uniforme D_1 , per un tempo T_2 sopra l'area A_2 di densità uniforme D_1 etc. con un accettabile livello di rischio²¹.

²⁰ Le densità di popolazione sono espresse in numero di abitanti per km²; i tempi sono espressi in secondi, minuti od ore; P_c è un numero puro compreso tra zero ed uno; L'area A_c è espressa in km² e l'obiettivo di sicurezza E_c è espresso in numero di *casualties* per missione. In ogni caso occorre porre attenzione alla congruenza delle unità di misura dei vari parametri che compaiono nella formula (2).

²¹ E' importate porre attenzione al fatto che il valore di P_c deve essere rappresentativo di una **missione tipica avente una certa durata media T**. Qualora cambi la tipologia della missione oppure il tempo di volo complessivo della missione T , la probabilità complessiva di caduta nel corso della missione (P_c) dovrebbe essere rivalutata in quanto potrebbe cambiare anch'essa di conseguenza. Ad esempio se il tempo totale di volo T aumenta anche P_c in generale aumenta nelle ipotesi di distribuzione uniforme nelle varie fasi di volo e quindi non è detto in generale che il secondo termine della (2): $(E_c \cdot T) / (P_c \cdot A_c)$ aumenti anch'esso. Quindi occorre tenere presente che in generale un allungamento del tempo di volo T può far cambiare il valore di della probabilità di caduta P_c durante la missione.

Esempio

Consideriamo come esempio applicativo il caso di un RPA, avente un'area letale A_c , che debba effettuare una missione della durata di 1 ora al disopra di un'area delle operazioni che viene suddivisa in tre aree di densità di popolazione uniforme D_0 , D_1 , D_2 . Vogliamo definire i tempi massimi di sorvolo T_0 , T_1 , T_2 delle tre aree in modo da verificare la condizione (2). Sia:

$$T=60 \text{ min}$$

$$A_c=333.75 \text{ m}^2=3.3375E-4 \text{ km}^2$$

$$P_c=0.1$$

$$E_c=2E-4$$

$$K_c=E_c/(P_c \cdot A_c)=6$$

$$D_0=0 \text{ abitanti/km}^2 \text{ (area non popolata)}$$

$$D_1=10 \text{ abitanti/km}^2$$

$$D_2=5 \text{ abitanti/km}^2$$

Applicando la (2) si ha:

$$D_1 \cdot T_1 + D_2 \cdot T_2 \leq K_c \cdot T = 6 \cdot 60 = 360 \rightarrow 10 \cdot T_1 + 5 \cdot T_2 \leq 360 \rightarrow 2 \cdot T_1 + T_2 \leq 72$$

con:

$$T_0 + T_1 + T_2 = T$$

$$T_0 \geq 0, T_1 \geq 0, T_2 \geq 0$$

Scegliamo ad esempio²² $T_0=24$ min. Allora si dovrà avere:

$$T_1 + T_2 = T - T_0 = 60 - 24 = 36 \text{ min} \rightarrow T_2 = 36 - T_1$$

che sostituita nella disuguaglianza fornisce:

$$2 \cdot T_1 + 36 - T_1 \leq 72 \rightarrow T_1 + 36 \leq 72 \rightarrow T_1 \leq 72 - 36 = 24 \text{ min}$$

²² Tale scelta dipenderà dalle esigenze della missione.

Scegliamo ora T1 in modo che sia verificata quest'ultima condizione, ad esempio sia: T1=12 min. Allora si avrà di conseguenza:

$$T2=36-T1=36-12=24 \text{ min}$$

In conclusione otteniamo: T0=24 min, T1=12 min, T2=24 min. L'obiettivo di sicurezza $E_c=2E-4$ viene quindi verificato (nel rispetto delle assunzioni poste alla base del modello) pianificando le operazioni di volo in modo tale che, nell'ambito della missione di 1 ora, l'RPA operi per un tempo minimo²³ T0=24 minuti al disopra di un'area disabitata ($D_0=0$ abitanti /km²) per un tempo massimo T1=12 minuti sopra l'area di densità di popolazione $D_1=10$ abitanti/km² e per un tempo massimo T2=24 minuti al disopra dell'area di densità di popolazione di 5 abitanti/km².

10. RIFERIMENTI

[1] ENAC, Regolamento Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto, Edizione 2, Emendamento 2 del 22 dicembre 2016

[2] ENAC, Metodologia di valutazione del rischio in operazioni RPAS per autorizzazioni e permessi di volo non geografici, Edizione 1, 10 dicembre 2015.

[3] ENAC Circolare NAV-32 D, Permessi di Volo e Attività Sperimentale

11. ACRONIMI

FH	Flight Hours
PTF	Permesso di Volo
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System (SAPR)
SAPR	Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto
VLOS	Visual Light Of Sight

²³ Nel caso in cui si operi su aree disabitate, con densità di popolazione nulla, non si aumenta il rischio per le terze parti a terra anche nel caso in cui il tempo di sorvolo sopra le aree disabitate aumenta rispetto a quello minimo calcolato, purché l'RPA cada sempre in aree non popolate in caso di avarie o malfunzionamenti. Per tale motivo il tempo T0 di 245 minuti può essere in questo esempio considerato un tempo *minimo* di sorvolo.