
L'impatto dei cambiamenti climatici sull'aviazione in Svizzera

Cosa dicono le proiezioni attuali? Occorre aumentare la resilienza del settore?



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'aviazione civile UFAC

Immagini

Secondo le fonti indicate

Foto senza indicazione della fonte

Foto della prima pagina: UFAC Hiltbrunner

Foto dell'introduzione: UFAC Rwakabayiza

Foto della conclusione: UFAC Hiltbrunner

La presente pubblicazione è disponibile anche in tedesco e
francese.

La lingua originale è il francese.

Sintesi

Scopo del presente documento è presentare alla luce delle conoscenze attuali i cambiamenti climatici che, in Svizzera, potrebbero influenzare il settore dell'aviazione. Il documento illustra le proiezioni relative all'evoluzione delle temperature, delle precipitazioni, del vento e dei fenomeni a forte impatto ma di dimensioni spazio-temporali ridotte, quali ad esempio i temporali, e i loro potenziali effetti sulle infrastrutture, sulle operazioni e su altri elementi legati all'attività aeronautica. Da ciò risulta che la Svizzera non è da considerarsi il Paese in cui l'aviazione è la più esposta ai pericoli climatici, ma che presenta tuttavia alcuni fattori di rischio suscettibili di peggiorare a seconda del livello di riscaldamento. Ne consegue l'utilità di integrare i cambiamenti climatici nella gestione dei rischi degli aeroporti svizzeri, tenendo ovviamente conto delle loro peculiarità e delle proiezioni climatiche locali. La gestione dei rischi climatici viene discussa alla fine del documento in un capitolo dedicato alla resilienza.

Indice

1. Introduzione.....	1
2. Cambiamenti climatici e impatto sull'aviazione.....	1
2.1. Temperatura	3
2.2. Precipitazioni.....	6
2.3. Venti di superficie	8
2.4. I temporali e altri fenomeni meteorologici a forte impatto sull'aviazione	9
3. Resilienza e strategie di adattamento.....	10
4. Conclusioni	11
5. Riferimenti bibliografici	13



1. Introduzione

L'aviazione occupa un posto particolarmente importante nella società e nell'economia svizzera. Nel 2018 sono stati registrati quasi 57.6 milioni di passeggeri (locali e in transito) e circa 1.4 milioni di decolli e atterraggi. Le infrastrutture svizzere, che comprendono tre aeroporti nazionali, undici aeroporti regionali, cinque aerodromi militari a uso anche civile, quarantaquattro campi d'aviazione e venticinque eliporti, nonché le operazioni che vi si svolgono, sono esposte a condizioni meteorologiche mutevoli.

L'aviazione, come ogni settore che ricorre ai combustibili fossili, contribuisce al riscaldamento climatico. Il riscaldamento comporta anche dei rischi per il settore aeronautico che, pur essendo abituato alle perturbazioni meteorologiche, è sensibile ai cambiamenti climatici. Un cambiamento permanente dei parametri meteorologici può, tra le altre cose, avere un impatto (spesso negativo) sulle infrastrutture aeroportuali, sulle operazioni e sulle attività economiche connesse all'aviazione. In Svizzera i rischi legati ai cambiamenti climatici per il settore dell'aviazione sono considerati minori rispetto ad altre parti del mondo (ad es. paesi costieri e paesi tropicali), ma si possono individuare alcuni effetti che dipendono dal livello di riscaldamento.

La resilienza è la capacità di un sistema di assorbire un elemento di disturbo, di adattarvisi. È ormai riconosciuta la necessità di rafforzare a livello globale la resilienza del settore dell'aviazione di fronte alle crescenti manifestazioni del riscaldamento globale. La consapevolezza del problema cresce di pari passo con la maggiore precisione delle proiezioni climatiche. Nel 2018 Eurocontrol ha rilevato che gran parte delle organizzazioni europee intervistate (86%) riteneva probabile la necessità immediata o futura di azioni di adattamento, anche se solo il 52% di esse aveva iniziato a pianificarle (Eurocontrol, 2018). L'aumento della resilienza del settore dell'aviazione è necessario per anticipare i cambiamenti. L'integrazione di misure di adattamento rientra tra gli scopi dell'accordo di Parigi (2015), che comprende un obiettivo globale di adattamento ai cambiamenti climatici. Un nuovo capitolo sulla resilienza e l'adattamento nel settore dell'aviazione sono stati recentemente inseriti anche nell'Airport Planning

Manual dell'Organizzazione internazionale dell'aviazione civile (ICAO) (DOC 9184).

Scopo del presente documento è fornire una panoramica dello stato attuale delle conoscenze sui cambiamenti climatici stimati in Svizzera che potrebbero interessare il settore aereo entro la fine del XXI secolo. L'evoluzione dei principali parametri e fenomeni meteorologici (temperatura, precipitazioni, venti, temporali) viene pertanto correlata ai potenziali effetti sulle infrastrutture e sulle attività aeronautiche. Nell'ultima parte del documento vengono forniti anche primi spunti di riflessione per i responsabili della gestione dei rischi climatici negli aerodromi svizzeri.

2. Cambiamenti climatici e impatto sull'aviazione

Cambiamento climatico, deregolamentazione climatica o riscaldamento climatico sono termini generici che descrivono i cambiamenti permanenti del sistema climatico globale. Si tratta principalmente di una conseguenza diretta dell'aumento della concentrazione atmosferica dei gas a effetto serra di origine antropica. I cambiamenti climatici hanno l'effetto di modificare in modo permanente molti parametri meteorologici interdipendenti, tra cui la temperatura, i parametri legati al ciclo dell'acqua e quelli legati ai venti. Vista la natura eterogenea del pianeta, gli effetti del cambiamento climatico variano nello spazio. Anche la vulnerabilità a questi cambiamenti varia a seconda del tipo e della distribuzione delle infrastrutture antropiche.

I principali cambiamenti dei parametri meteorologici che potrebbero colpire a livello globale il settore dell'aviazione possono essere riassunti in due categorie:

- cambiamento dei parametri meteorologici medi (tra cui temperatura, precipitazioni, velocità e direzione del vento);
- cambiamento della frequenza e dell'intensità di eventi estremi (ondate di calore, siccità, temporali, tempeste, ecc.).

L'aviazione è un settore in cui il corretto svolgimento delle operazioni dipende direttamente dalle

condizioni atmosferiche e le cui infrastrutture sono sensibili a determinati cambiamenti puntuali o duraturi delle condizioni meteorologiche. Gli effetti sull'aviazione possono essere raggruppati in diverse categorie (non esaustive) (ACRP, 2012; Eurocontrol, 2018):

- danni alle infrastrutture;
- disturbo delle operazioni;
- modifica dell'impatto ambientale;
- ridistribuzione della domanda;
- impatto finanziario.

RISCHI LEGATI AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Oltre all'impatto sugli ecosistemi, i cambiamenti climatici hanno un impatto sugli esseri umani, sulle loro infrastrutture e attività. Nel settore ambientale, un rischio è definito come la probabilità che un fenomeno naturale pericoloso (pericolo naturale) produca conseguenze nefaste - umane, sociali, economiche ed ambientali (pericolosità). Il rischio dipende dall'interazione di tre fattori principali, che sono la pericolosità, l'esposizione e la vulnerabilità, e può essere riassunto come segue (CH2018, 2018):

$$\text{rischio} = f(\text{pericolosità}, \text{esposizione}, \text{vulnerabilità})$$

Il rischio è quindi funzione della pericolosità (in particolare della probabilità che si verifichi e della sua intensità), dell'esposizione, ovvero della distribuzione geografica delle persone e delle infrastrutture, e della vulnerabilità, che descrive il grado in cui l'esposizione è interessata da una pericolosità specifica.

Sul lungo periodo i rischi legati ai cambiamenti climatici possono essere ridotti attenuando la pericolosità (riduzione delle emissioni di gas serra); nel breve periodo sono efficaci solo misure di riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità.

Il caso svizzero

Le proiezioni dell'evoluzione dei parametri climatici in Svizzera utilizzate in questo documento provengono dal rapporto tecnico CH2018 del National Centre for Climat Services (NCCS). L'eterogeneità spaziale della topografia svizzera influisce sulle proiezioni climatiche regionali. I modelli climatici ad alta risoluzione utilizzati consentono di distinguere determinati gradienti a livello spaziale. Occorre, tuttavia, tenere presente che le proiezioni presentano sempre un grado d'incertezza, la cui entità dipende dal fenomeno in questione. I fenomeni climatici, infatti, sono complessi e le manifestazioni del riscaldamento possono concentrarsi in determinati periodi (clustering) dopo che per anni la situazione è stata "normale".

I principali effetti stimati dei cambiamenti climatici sull'aviazione in Svizzera derivano dalle variazioni delle temperature e delle precipitazioni (le proiezioni più attendibili). Le conseguenze di questi cambiamenti vanno dalla riduzione delle prestazioni degli aeromobili al cambiamento dell'impatto ambientale (ad es. rumore, emissioni nell'atmosfera), passando per la riduzione della capacità aeroportuale. L'evoluzione dei fenomeni con un forte impatto ma di dimensioni spazio-temporali ridotte, come la convezione e i suoi diversi effetti potenziali (taglio del vento a basse quote, fulmini, grandine, turbolenze ad aria chiara od orografiche, formazione di ghiaccio, bassa visibilità, nubi basse) al momento, in generale, è ancora difficile da proiettare (OMM, 2016).

La maggior parte dei cambiamenti climatici citati e illustrati nel presente documento si basa sullo scenario RCP8.5 («Representative Concentration Pathway 8.5», cfr. riquadro seguente), elaborato dal Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC). È stato scelto questo scenario in quanto probabile in questo momento e perché nelle strategie di gestione del rischio è opportuno considerare lo scenario peggiore (cfr. riquadro seguente). Le conseguenze sull'aviazione descritte si concentrano sullo spazio aereo svizzero e sulle relative infrastrutture; non vengono, invece, considerati i diversi vincoli operativi causati dai cambiamenti climatici al di fuori della Svizzera (ad es. innalzamento del livello dei mari).

MODELLO CLIMATICO, SCENARI DI EMISSIONE E GESTIONE DEI RISCHI

Vista la natura complessa del clima è necessario distinguere tra fluttuazioni naturali a breve termine e cambiamenti climatici a lungo termine. Su scala spazio-temporale ridotta le condizioni meteorologiche variano notevolmente e l'affidabilità delle previsioni diminuisce molto rapidamente. Come per le previsioni meteorologiche, ma su una scala temporale molto più ampia, vengono sviluppati modelli climatici per simulare l'evoluzione a lungo termine delle condizioni climatiche. Non è possibile conoscere la meteo a una certa data lontana nel tempo, ma è invece possibile elaborare statistiche meteorologiche, altrimenti note come previsioni climatiche (Accademia svizzera delle scienze, 2016). Queste previsioni si basano su modelli complessi, ma rimangono una semplificazione della realtà e, come tali, presentano un certo grado di incertezza, dovuta in buona parte anche alla naturale variabilità meteorologica a breve termine.

L'evoluzione delle emissioni di gas serra di origine antropica è un'altra fonte di incertezza. Per questo motivo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha elaborato alcuni scenari di emissione. Essi corrispondono ad alcune serie temporali dell'evoluzione della concentrazione atmosferica dei gas serra basate su alcune ipotesi. I seguenti due scenari RCP (Representative Concentration Pathways) rappresentano lo scenario più ottimistico e quello più pessimistico (IPCC, 2018):

- RCP2.6. descrive l'evoluzione della concentrazione atmosferica dei gas serra in caso di adozione di misure di protezione del clima significative (in conformità con gli obiettivi dell'Accordo di Parigi sul clima (2015));
- RCP8.5. descrive una situazione senza cambiamenti della politica climatica, con una continua crescita delle emissioni di gas serra.

Spesso lo scenario RCP8.5 si è rivelato più adatto a mostrare le variazioni tra le condizioni climatiche di un determinato periodo di riferimento e quelle di un periodo di studio in proiezione. Esso permette, infatti, di osservare un contrasto più marcato in termini di variazioni spaziali e temporali dei segnali, grazie all'amplificazione di questi ultimi. Lo scenario RCP8.5 è anche quello credibile e probabile al momento attuale perché corrisponde al riscaldamento stimato qualora l'attuale crescita delle emissioni di gas serra continuasse (Climate Action Tracker, 2017). Inoltre, nella gestione del rischio è molto importante riferirsi allo scenario peggiore. La strategia del minimo rimpianto, spesso utilizzata, consiste proprio nell'individuare i maggiori rischi di perdita.

2.1. Temperatura

L'attuale aumento della temperatura globale è una conseguenza diretta dell'aumento della concentrazione atmosferica dei gas serra, che porta a un cambiamento nella forzatura radiativa terrestre (radiazione in entrata > radiazione in uscita). In Svizzera sono disponibili dal 1864 dati temporali affidabili sulla temperatura. Si osserva una sensibilità particolare al riscaldamento globale in quanto da tale data l'aumento della temperatura è stato di 2°C, ossia di più del doppio dell'aumento della temperatura media globale di 0,9°C (CH2018, 2018). L'entità del riscaldamento futuro dipende fortemente dallo scenario di emissione considerato. Infatti, l'aumento della temperatura media annuale in Svizzera tra il

periodo preindustriale e la fine del ventunesimo secolo (2070-2099) è stimato tra 2,1°C e 3,4°C secondo lo scenario RCP2.6, mentre potrebbe raggiungere i 6,9°C secondo lo scenario RCP8.5 (CH2018, 2018).

Il riscaldamento stimato in Svizzera riguarda tutte e quattro le stagioni e l'intero territorio. Il riscaldamento massimo si verifica in estate. La Figura 1 mostra le variazioni spaziali e stagionali della temperatura stimata per la fine del ventunesimo secolo (RCP8.5). Il riscaldamento medio più elevato si concentra nella regione alpina.

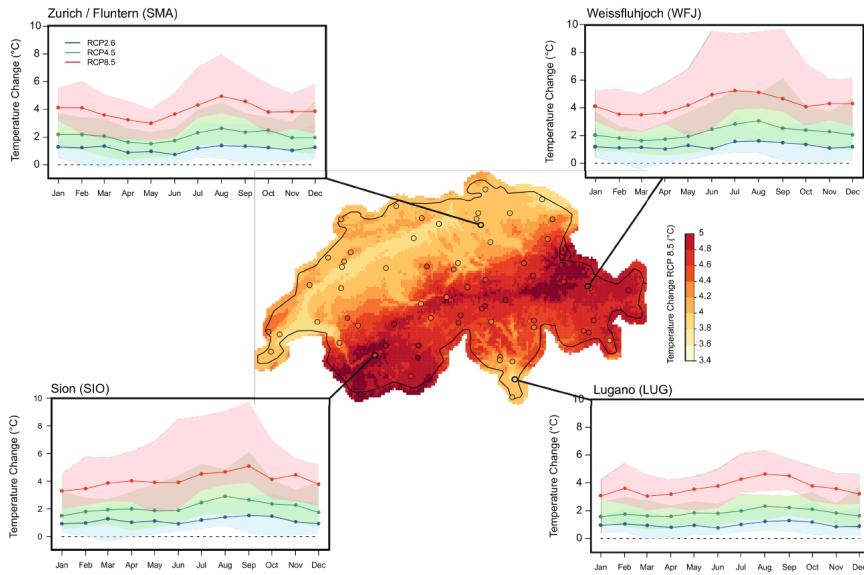


Figura 1: Al centro: cambiamento della temperatura media simulato in Svizzera (combinazione multimodello, proiezione mediana) tra il periodo di riferimento (1981-2010) e la fine del ventunesimo secolo (2085), secondo lo scenario RCP8.5. I grafici negli angoli rappresentano la proiezione delle variazioni mensili della temperatura in diverse stazioni. (CH2018, 2018).

Le proiezioni climatiche in Svizzera mostrano che le temperature massime tenderanno ad aumentare più di quelle medie. Si prevede quindi un aumento della frequenza e dell'intensità degli episodi di caldo intenso. È quanto indicano diverse proiezioni, come ad esempio quella dell'aumento della temperatura del giorno più caldo dell'anno o quella dell'aumento del numero di giorni tropicali (temperatura superiore a 30°C). La Figura 2 mostra la variazione spaziale dell'aumento stimato del numero di giornate tropicali in Svizzera tra il periodo di riferimento (1981-2010) e la metà del ventunesimo secolo (RCP8.5) (NCCS, 2018). Questa manifestazione del riscaldamento si verifica soprattutto a basse altitudini, in particolare nella regione di Ginevra e nelle basse valli alpine (valle del Rodano, confluenza del Reno anteriore e posteriore, valli ticinesi).

L'aumento delle temperature medie e istantanee va di pari passo con la riduzione della frequenza e dell'intensità delle ondate di freddo evidenziata nei modelli climatici. In inverno l'isoterma di zero gradi potrebbe salire da 400 a 650 metri a metà del secolo e da 700 a 1050 metri alla fine del secolo (RCP8.5) (NCCS, 2018).

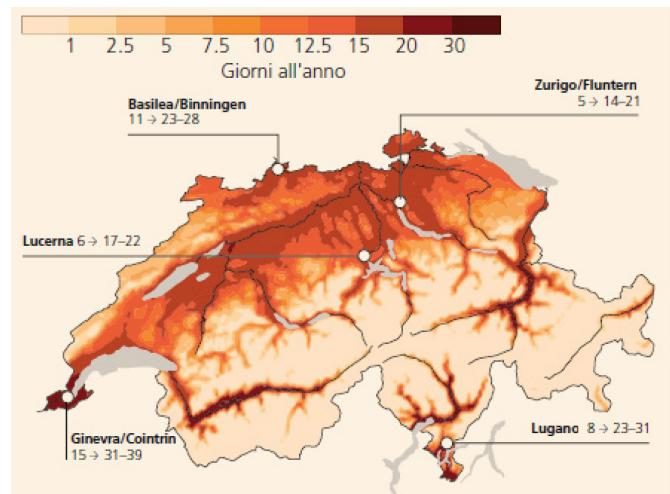


Figura 2: simulazione dell'evoluzione del numero di giornate tropicali in Svizzera tra il periodo di riferimento (1981-2010) e la metà del ventunesimo secolo (2060) secondo lo scenario RCP8.5. (NCCS , 2018)

QUALI CONSEGUENZE PER L'AVIAZIONE?

Le conseguenze di un aumento della temperatura media e di un aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore dipendono dal livello di riscaldamento. La posizione dell'aerodromo determina anche la sua esposizione. Alcuni degli effetti menzionati possono essere ridotti o amplificati a seconda della posizione geografica.

- Un aumento della temperatura, a un'altitudine costante, ha come conseguenza principale una diminuzione delle prestazioni del motore e una riduzione della portanza aerodinamica dell'aeromobile. Questi effetti sono accentuati da un'umidità dell'aria potenzialmente più elevata (vedi par. 2.2.). Questa diminuzione della densità dell'aria può essere compensata solo entro certi limiti e solo da alcuni motori (ad es. turbogetto, turboelica, motori a pistoni turbocompressi). Tuttavia, a seconda dell'intensità di un evento di calore intenso, dell'altitudine dell'aerodromo, della lunghezza delle piste e del tipo di aeromobile (e dell'area di volo certificata), possono rendersi necessarie restrizioni operative temporanee o permanenti. Tale rischio aumenta per le infrastrutture aeronautiche situate ad altitudini elevate e dotate di piste corte.
- Un'altra conseguenza della diminuzione della densità dell'aria è l'aumento delle emissioni sonore e atmosferiche. Infatti, per produrre la stessa spinta a una temperatura più elevata il motore deve funzionare a un numero di giri maggiore.
- L'aumento delle temperature influenza il potenziale bisogno di raffreddamento nelle infrastrutture aeroportuali. Durante la stagione estiva si prevede una crescita della domanda di aria condizionata (cioè di energia). Inoltre, per alcune infrastrutture anche un aumento del numero di passeggeri (ridistribuzione stagionale della domanda) potrebbe contribuire all'aumento del fabbisogno energetico.
- Un riscaldamento invernale e una riduzione dell'intensità e della frequenza delle ondate di freddo possono presentare alcuni aspetti positivi per il settore dell'aviazione, soprattutto attraverso una riduzione della domanda invernale di riscaldamento e di de-icing.



Immagine 1: le prestazioni dei motori, allo stesso modo della portanza aerodinamica, dipendono dalla temperatura. A seconda della temperatura, dell'umidità e dell'altitudine, la lunghezza di una pista può diventare un fattore limitante per alcuni aeromobili.

(Foto: UFAC Hiltbrunner)

2.2. Precipitazioni

Il riscaldamento climatico influenza il ciclo dell'acqua e quindi le precipitazioni. Occorre tener conto, in particolare, del parametro fisico della capacità igrometrica dell'aria. Questa capacità dell'aria di contenere una certa quantità di acqua sotto forma di vapore aumenta con la temperatura¹. Ciò influenza direttamente la quantità e la distribuzione temporale delle precipitazioni e, per estensione, l'intensità degli eventi piovosi.

Le precipitazioni sono caratterizzate da un'elevata variabilità spazio-temporale. Nonostante questa naturale variabilità delle precipitazioni, le simulazioni evidenziano alcune tendenze future per la Svizzera, tra cui l'aumento delle precipitazioni invernali e la riduzione delle precipitazioni estive. Questi cambiamenti sono maggiormente visibili nello scenario RCP8.5. Secondo quest'ultimo, il cambiamento nella distribuzione annuale delle precipitazioni si esprimerà alla fine del secolo con un aumento (generalmente superiore al 15%) delle precipitazioni invernali e una diminuzione (generalmente superiore al 10%) delle precipitazioni estive (CH2018, 2018). Secondo queste proiezioni

l'estate sarà caratterizzata da un'estensione del clima mediterraneo, con una diminuzione delle precipitazioni e un aumento dell'evaporazione. Per la primavera e l'autunno si prevedono cambiamenti inferiori o di minima entità. La Figura 3 illustra le proiezioni per le variazioni spaziali e stagionali delle precipitazioni medie in Svizzera a breve termine (2035), a metà del secolo (2060) e alla fine del secolo (2085) (RCP8.5).

È difficile individuare chiare tendenze spaziali, soprattutto prima della fine del secolo. L'aumento delle precipitazioni invernali varia dal 12% (Alpi occidentali) al 22% (Svizzera meridionale) e la riduzione delle precipitazioni estive va dal 10% (Alpi orientali) al 24% (Svizzera occidentale) (CH2018, 2018). Occorre notare che le proiezioni per le regioni di Ginevra e del Ticino, caratterizzate da una maggiore riduzione delle precipitazioni estive (rispetto al resto del Paese), mostrano anche un caldo estivo intenso (cfr. par. 2.1.): una combinazione di condizioni che favorisce l'aumento degli incendi boschivi.

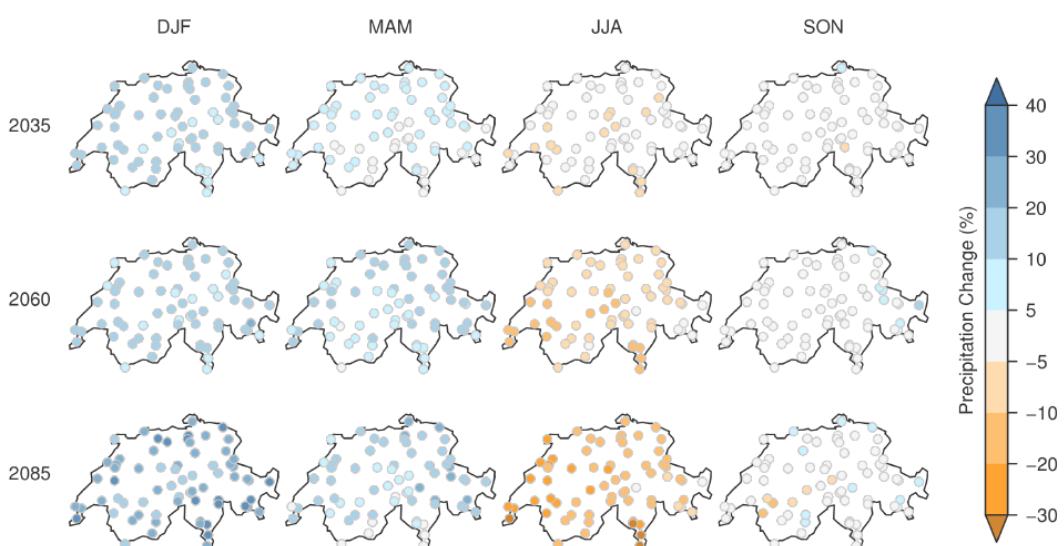


Figura 3: simulazione dell'evoluzione delle precipitazioni medie (in %) in Svizzera (combinazione multimodello, proiezione mediana) tra il periodo di riferimento (1981-2010) e l'anno 2035, 2060, e 2085, secondo lo scenario RCP8.5. (CH2018, 2018)

¹Secondo la relazione di Clausius-Clapeyron.

I cambiamenti nella distribuzione temporale delle precipitazioni rivestono un ruolo importante per l'aviazione. Le simulazioni del rapporto tecnico CH2018 mostrano infatti che l'intensità degli episodi di pioggia aumenterebbe in modo pressappoco lineare insieme al riscaldamento. Ciò è direttamente correlato all'aumento del contenuto massimo di vapore acqueo nell'aria stimato, dovuto all'aumento della temperatura (v. par. 2.1.). Il numero e l'intensità dei picchi di precipitazioni potrebbero quindi aumentare molto di più delle precipitazioni medie e potrebbero addirittura aumentare parallelamente a una riduzione delle precipitazioni medie (concentrazione delle piogge in periodi più brevi e aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi).

Infine, i modelli mostrano una riduzione della frequenza e della quantità delle precipitazioni allo stato solido (neve). Con il riscaldamento dell'atmosfera si prevede, infatti, un innalzamento dell'altitudine dell'isoterra di zero gradi. Resta comunque grande l'influenza dei fenomeni meteorologici locali, come l'inversione locale, sulle precipitazioni nevose; essa permette quindi di relativizzare l'affermazione secondo cui gli inverni saranno meno nevosi (NCCS, 2018).

QUALI CONSEGUENZE PER L'AVIAZIONE?

I cambiamenti duraturi dei regimi pluviometrici locali e, soprattutto, l'aumento della frequenza e dell'intensità delle precipitazioni piovose (inverno ed estate) hanno potenzialmente un impatto sulle infrastrutture e sulle operazioni aeronautiche.

L'aumento dell'intensità delle precipitazioni è associato a un aumento dei pericoli idrologici, quali colate di fango e smottamenti del terreno, per le infrastrutture e le strade di accesso esposte. Esso è associato anche a un aumento del rischio di piene e di inondazioni per le infrastrutture.

L'aumento stimato dell'intensità delle precipitazioni può far aumentare il fabbisogno di capacità di drenaggio; un'eventuale incapacità di regolare l'acqua in eccesso può comportare la riduzione temporanea o permanente della capacità aeroportuale.

D'altro canto, anche la mancanza di precipitazioni può portare a conseguenze negative per l'aviazione. L'estensione stimata del clima mediterraneo, caratterizzato da una maggiore siccità estiva, creerebbe le condizioni favorevoli all'insorgere di incendi boschivi, che a loro volta potrebbero portare a vincoli operativi.



Immagine 2: la fitta rete idrografica espone molte infrastrutture aeronautiche svizzere (qui l'aeroporto di Berna-Belp nel 1999) al rischio di inondazioni. (Foto: DDPS/Swiss Air Force)

2.3. Venti di superficie

In Svizzera la formazione di venti superficiali relativamente forti è tipicamente collegata a situazioni di foehn, bise, vento da ovest oppure ai temporali (CH2018, 2018; MeteoSvizzera, 2015).

L'analisi delle proiezioni relative all'evoluzione dei venti di superficie in Svizzera, fortemente dipendente dalla topografia locale, non mostra chiare tendenze spaziali. Le variazioni di velocità stimate sono generalmente lievi, indipendentemente dallo scenario considerato (CH2018, 2018).

Di particolare interesse per l'aviazione è lo studio della futura evoluzione dei venti estremi. Nonostante la difficoltà a modellizzare questi fenomeni, diversi studi suggeriscono un potenziale aumento della frequenza e dell'intensità degli episodi di vento estremo nell'Europa centrale e occidentale, che potrebbe interessare la Svizzera settentrionale (Goyette, 2011; Donat et al., 2011). Altri studi mostrano una diminuzione di questo tipo di eventi nell'Europa meridionale (Mölter et al., 2016). L'evoluzione di questi eventi in Svizzera è caratterizzata dunque da incertezza, perché il Paese si trova tra queste zone di proiezione (CH2018, 2018).

QUALI CONSEGUENZE PER L'AVIAZIONE?

In linea generale un cambiamento della direzione e della velocità del vento, o un cambiamento delle caratteristiche dei venti estremi (frequenza, intensità), potrebbe avere un impatto sull'aviazione, in particolare compromettendo il normale svolgimento delle operazioni.

In determinati aerodromi un cambiamento di direzione del vento prevalente potrebbe comportare un aumento dei venti trasversali. In tal caso, per gli aerodromi dotati di piste con assi divergenti potrebbe rendersi necessaria una modifica delle procedure, con conseguente cambiamento dell'impatto ambientale (emissioni sonore). Nel caso degli aerodromi sprovvisti di una tale configurazione delle piste, ciò potrebbe anche compromettere le operazioni. L'aumento della frequenza e dell'intensità dei venti estremi, dal canto suo, potrebbe comportare riduzioni temporanee della capacità aeroportuale.

Immagine 3: l'impatto acustico degli aeroporti con piste ad assi divergenti può cambiare in caso di cambio temporaneo o permanente della direzione e dell'intensità dei venti prevalenti (ortofoto: aeroporto di Zurigo. Fonte: map.geo.admin.ch)



© Données:CNES, Spot Image, swisstopo, NPOC

2.4. I temporali e altri fenomeni meteorologici a forte impatto sull'aviazione

Per i fenomeni meteorologici locali, come tempeste, fulmini e grandine, non si dispone ancora di osservazioni sufficienti per stabilire tendenze affidabili sul cambiamento delle loro caratteristiche in Svizzera (NCCS, 2018; MeteoSvizzera, 2013). Tuttavia, alcuni studi rivelano l'influenza potenziale del riscaldamento climatico sui fenomeni temporaleschi.

Un aumento della temperatura e dell'umidità di superficie si traduce in un aumento dell'instabilità termodinamica verticale, tipicamente rappresentata come "energia potenziale di convezione disponibile" (Allen, 2018). Questa maggiore instabilità determina un aumento della velocità massima della corrente ascendente, che si ritiene favorisca il verificarsi di temporali e l'aumento della loro intensità, anche al di fuori della stagione calda (Diffenbaugh et al., 2013;

Hoogewind et al., 2017; Allen, 2018). Alcuni modelli mostrano un aumento del numero dei temporali violenti e della frequenza dei fulmini parallelamente a un aumento della temperatura atmosferica (Romps et al., 2014). Tuttavia, l'aumento della velocità della corrente ascendente legato al riscaldamento climatico potrebbe anche essere inibito o compensato (Trapp & Hoogewind, 2016; Allen, 2018).

QUALI CONSEGUENZE PER L'AVIAZIONE?

I temporali sono accompagnati da diversi fenomeni a elevato alto impatto sulle operazioni di volo e sulla loro sicurezza. Si tratta tipicamente di turbolenze, fulmini, grandine, taglio del vento, visibilità ridotta o formazione di ghiaccio (OMM, 2016). Un aumento dell'intensità e della frequenza dei temporali avrebbe quindi un forte impatto sul trasporto aereo, cosa che si tradurrebbe in particolare in un aumento dei disturbi alle operazioni (ritardi, dirottamenti e cancellazioni di voli).

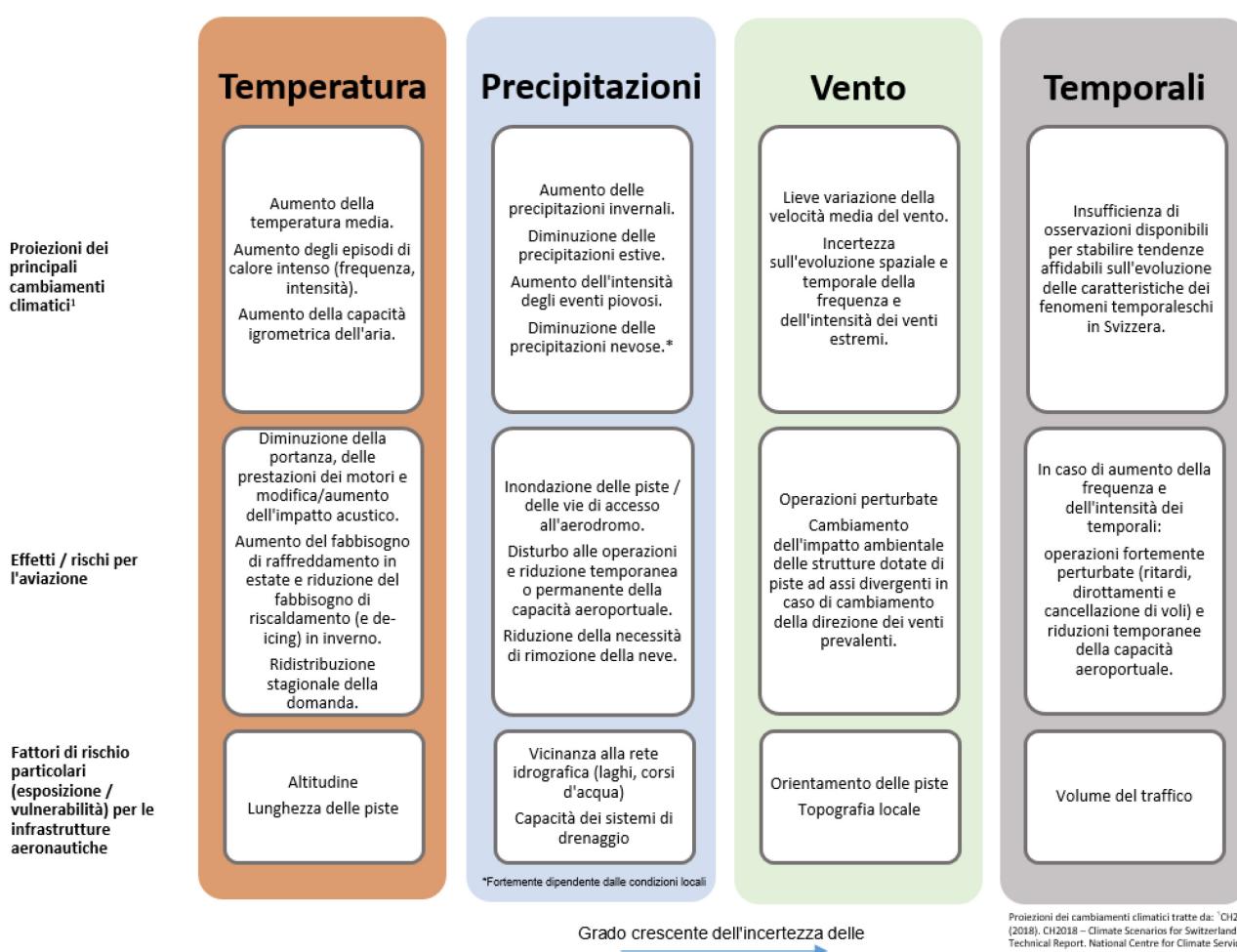


Figura 4: sintesi dei cambiamenti climatici stimati in Svizzera e delle loro potenziali conseguenze sull'aviazione.

Proiezioni dei cambiamenti climatici tratte da: CH2018 (2018). CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp. ISBN: 978-3-9525031-4-0.

3. Resilienza e strategie di adattamento

Le proiezioni sui cambiamenti climatici in Svizzera consentono di prevedere diversi tipi di impatto di grado differente a seconda del livello del riscaldamento e dell'esposizione degli aerodromi. I fattori sociali, ambientali, economici e della sicurezza in gioco evidenziano la necessità del settore di una maggiore resilienza e di strategie d'adattamento. Gli attori del settore dell'aviazione sono tra loro interdipendenti. Un'anomalia a un solo livello può perturbare l'intera rete. Per sviluppare la resilienza del settore è pertanto necessario che le parti responsabili della gestione dei rischi climatici definiscano un approccio globale e collaborativo.

La gestione dei rischi climatici per un aeroporto si compone di diverse fasi e varia a seconda della strategia utilizzata. Questa gestione può essere integrata in un metodo di valutazione del rischio già esistente oppure essere l'oggetto di una nuova

metodologia specifica per la valutazione dei rischi climatici (ACRP, 2012; ACI, 2018). La Figura 5 riassume, in maniera generale, le prime domande da porsi nell'ambito della gestione dei rischi associati ai cambiamenti climatici per un aeroporto.

Vi sono molteplici misure di adattamento possibili, sia materiali che organizzative. Esistono, tra le altre, misure di adattamento operativo (ad es. possibilità di integrare orari di decollo temporaneamente limitati) o di adattamento infrastrutturale (ad es. miglioramento dei sistemi di drenaggio). È possibile individuare diversi criteri per la valutazione delle misure prioritarie. Essi includono il grado di probabilità che un pericolo si verifichi e che le sue caratteristiche cambino a causa del riscaldamento globale, l'entità degli effetti potenziali (sulle infrastrutture, sull'attività, ecc.), il costo e l'efficacia di una misura nonché la polivalenza degli effetti positivi di una misura (alcune misure sono infatti in grado di contribuire alla riduzione simultanea di più rischi). Le decisioni relative alle azioni di adattamento da intraprendere dipendono in ampia misura dalle

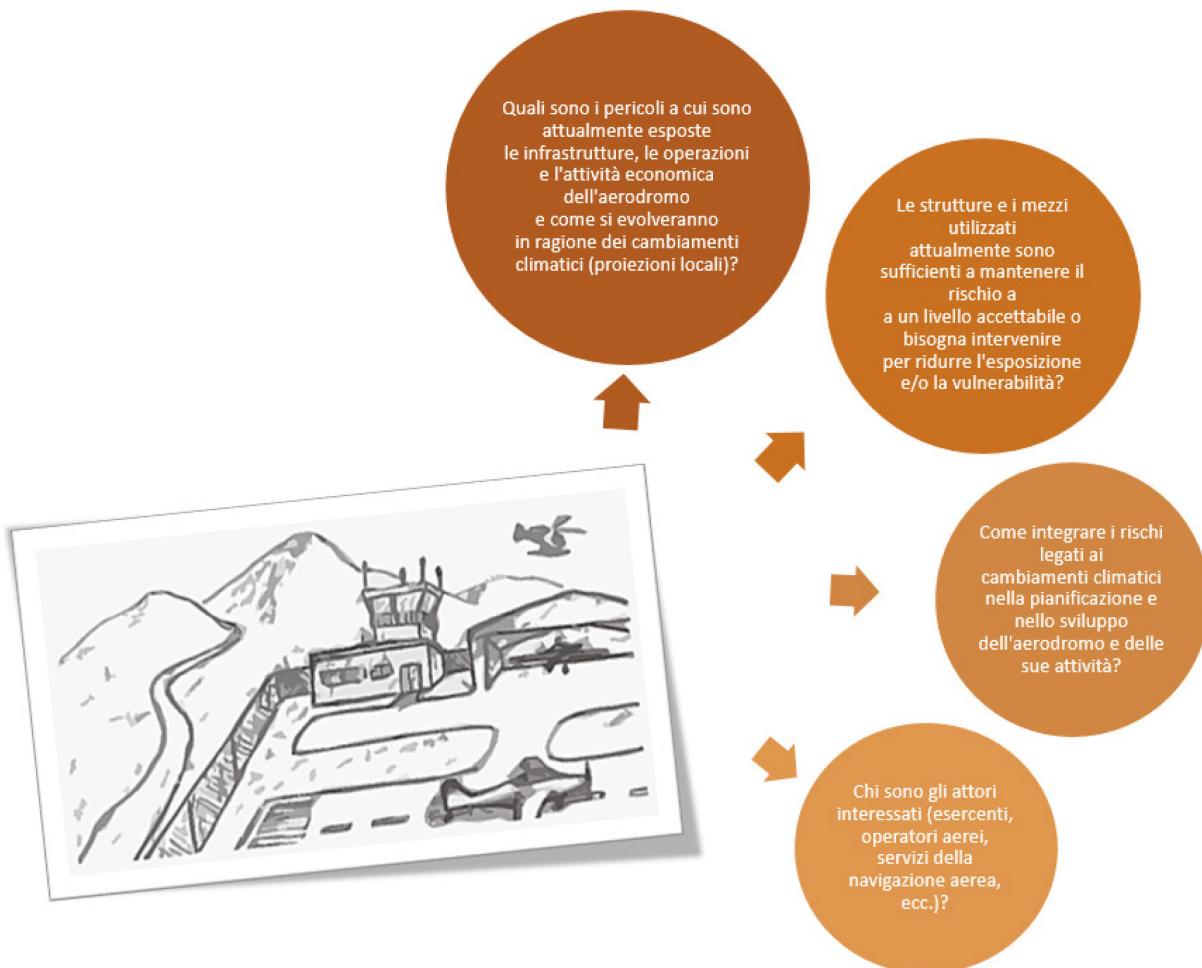


Figura 5: gestione dei rischi climatici di un aerodromo, bilancio.

circostanze locali e dai modelli di gestione del rischio adottati dagli organismi interessati (ACRP, 2012; Eurocontrol, 2018).

4. Conclusioni

Rispetto ad altre regioni del mondo, l'aviazione svizzera non è considerata la più esposta a grossi rischi climatici. Infatti, la sua esposizione a temperature estreme che potrebbero limitare notevolmente i decolli o addirittura causare danni alle infrastrutture è inferiore, ad esempio, a quella delle regioni equatoriali e tropicali. Allo stesso modo, non essendo un Paese costiero, la sua esposizione all'innalzamento del livello dei mari, che minaccia molte infrastrutture aeronautiche in tutto il mondo, è pari a zero. Tuttavia, le proiezioni mostrano alcune manifestazioni dei cambiamenti climatici (ad es. aumento della temperatura e dell'intensità delle precipitazioni) che, se combinate con le peculiarità degli aerodromi svizzeri e della topografia, potrebbero avere delle conseguenze (ad es. anomalie operative, danni alle infrastrutture), che devono essere prese in considerazione per la gestione dei rischi degli aerodromi e per pianificare lo sviluppo delle loro infrastrutture e attività. Inoltre, il traffico aereo tra la Svizzera e le regioni del mondo più colpite dagli effetti dei cambiamenti climatici può essere anch'esso soggetto a perturbazioni.

Le principali manifestazioni dei cambiamenti climatici che possono influenzare il settore aereo in Svizzera sono anche quelle con le proiezioni più affidabili, vale a dire la temperatura e le precipitazioni.

L'aumento stimato della temperatura nonché della frequenza e dell'intensità degli episodi di caldo intenso (canicola) può causare disturbi temporanei alle operazioni, la ridistribuzione spaziale e stagionale della domanda (numero di passeggeri), variazioni della domanda di energia e un cambiamento dell'impatto sonoro degli aerodromi.

Anche i cambiamenti stimati delle caratteristiche delle precipitazioni (aumento delle precipitazioni invernali, riduzione delle precipitazioni estive, aumento dell'intensità delle precipitazioni piovose) possono compromettere il normale svolgimento delle operazioni nonché causare danni alle infrastrutture.

È invece difficile, al momento attuale, individuare tendenze spaziali relative all'evoluzione delle caratteristiche dei venti (tra cui le caratteristiche dei

venti estremi) in Svizzera. Tuttavia, è possibile immaginare che un cambiamento della direzione e dell'intensità dei venti prevalenti influirebbe in primo luogo sulle operazioni e sull'impatto ambientale di un aerodromo.

Riguardo all'evoluzione di fenomeni a forte impatto ma di piccole dimensioni spazio-temporali, sono ancora necessarie ulteriori ricerche. Un aumento della frequenza e dell'intensità dei fenomeni temporaleschi avrebbe sicuramente un forte impatto sull'aviazione, in particolare sulle operazioni.

I fattori sociali, ambientali, economici e della sicurezza in gioco evidenziano l'importanza di aumentare la resilienza del settore dell'aviazione svizzero ai cambiamenti climatici. Questo sviluppo deve orientarsi a un approccio globale e collaborativo dei vari soggetti interessati (esercenti degli aerodromi, operatori aerei, servizi della navigazione aerea, ecc.) La gestione dei rischi climatici, che rappresenta una parte considerevole delle strategie di adattamento degli aerodromi, dipende principalmente dalle circostanze locali (proiezioni sul clima, configurazione dell'infrastruttura e delle operazioni, sviluppo programmato delle attività, ecc.), ma anche dai modelli di gestione del rischio degli organismi interessati.

Il tema della resilienza e quello della mitigazione del riscaldamento climatico sono quindi strettamente collegati tra loro. L'entità degli effetti dei cambiamenti climatici sull'aviazione, e quindi la portata delle misure di adattamento necessarie, dipendono dallo scenario climatico considerato. Pertanto la mitigazione gioca un ruolo cruciale nello sviluppo di un trasporto aereo resiliente.



5. Riferimenti bibliografici

Accademia svizzera delle scienze (2016). *Coup de projecteur sur le climat suisse. Etat des lieux et perspectives.* Swiss Academies Reports 11 (5) (italiano non disponibile).

ACI (2018). *Airports' resilience and adaptation to a changing climate.* Airport Council International. ACI Policy Brief. September 2018.

ACRP (2012). *Airport Climate Adaptation and Resilience. A Synthesis of Airport Practice.* ACRP Synthesis 33. Airport Cooperative Research Program. National Academy of Sciences. Transportation Research Board. Washington D.C. 2012.

Allen, J.T. (2018). *Climate Change and Severe Thunderstorms.* Oxford Research Encyclopedia of Climate Science. Jul 2018.
DOI:10.1093/acrefore/9780190228620.013.62.

CH2018 (2018). *CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report.* National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pagg. ISBN: 978-3-9525031-4-0.

Climate Action Tracker (2017). *Improvement in warming outlook as India and China move ahead, but Paris Agreement gap still looms large.* <http://climateactiontracker.org/publications/briefing/288/Improvement-in-warming-outlook-as-India-and-China-move-ahead-but-Paris-Agreement-gap-still-looms-large.html>.

Diffenbaugh, N. S., Scherer, M. & Trapp, R. J. (2013). *Robust increases in severe thunderstorm environments in response to greenhouse forcing.* Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 110, 16,361–16,366.

Donat, M. G., Leckebusch, G. C., Wild, S., and Ulbrich, U. (2011). *Future changes in European winter storm losses and extreme wind speeds inferred from GCM and RCM multi-model simulations,* Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 1351-1370, <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1351-2011>, 2011.

Eurocontrol (2018). *European Aviation in 2040, Challenges of Growth. Annex 2, Adapting Aviation to a Changing Climate.* EUROCONTROL, June 2018.

Goyette, S. (2011). "Synoptic conditions of extreme windstorms over Switzerland in a changing climate," Climate dynamics, vol. 36, n. 5-6, pagg. 845–866.

Hoogewind, K. A., Baldwin, M. E., & Trapp, R. J. (2017). *The impact of climate change on hazardous convective weather in the United States: Insight from highresolution dynamical downscaling.* Journal of Climate. Advance online publication.

IPCC (2018). *Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pagg.

MeteoSvizzera (2013). «*Scénarios climatiques Suisse – un aperçu régional*», rapporto tecnico n° 243 MeteoSvizzera, 36 pagg. (italiano non disponibile).

MeteoSvizzera (2015). *Situazioni meteorologiche tipiche della regione alpina. Ufficio federale di meteorologia e di climatologia MeteoSvizzera.* 28 pagg.

Mölter, T.; Schindler, D.; Albrecht, A.T.; Kohnle, U. (2016). *Review on the Projections of Future Storminess over the North Atlantic European Region.* Atmosphere 2016, 7, 60.

NCCS (2018). *CH2018 - scénarios climatiques pour la Suisse. National Centre for Climate Services, Zurich.* 24 pagg. Numero ISBN 978-3-9525031-1-9.

OMM (2016). *Catastrophes (peu) naturelles : Expliquer les liens entre les événements extrêmes et le changement climatique.* Organizzazione meteorologica mondiale. Bollettino vol. 65 (2) – 2016.

Romps D. M., Seeley J. T., Vollaro D., Molinari J. (2014). *Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming.* Science, vol. 346, n. 6211, pagg. 851–854.

Trapp, R. J., & Hoogewind, K. A. (2016). *The realization of extreme tornadic storm events under future anthropogenic climate change.* Journal of Climate, 29, 5251–5265.