

# Boeing 737 MAX



A cura di:  
Luigi Marra  
Paola Cantelmi  
Fabio Saggiomo

Docente:  
Carlo de Nicola

## Incidenti e stress industriale

# 737 MAX e 737NG

Il Boeing 737 MAX è un *liner* transonico a fusoliera stretta, presentato da Boeing nell'agosto 2011, in seguito all'annuncio dell'Airbus A320neo nel dicembre 2010.

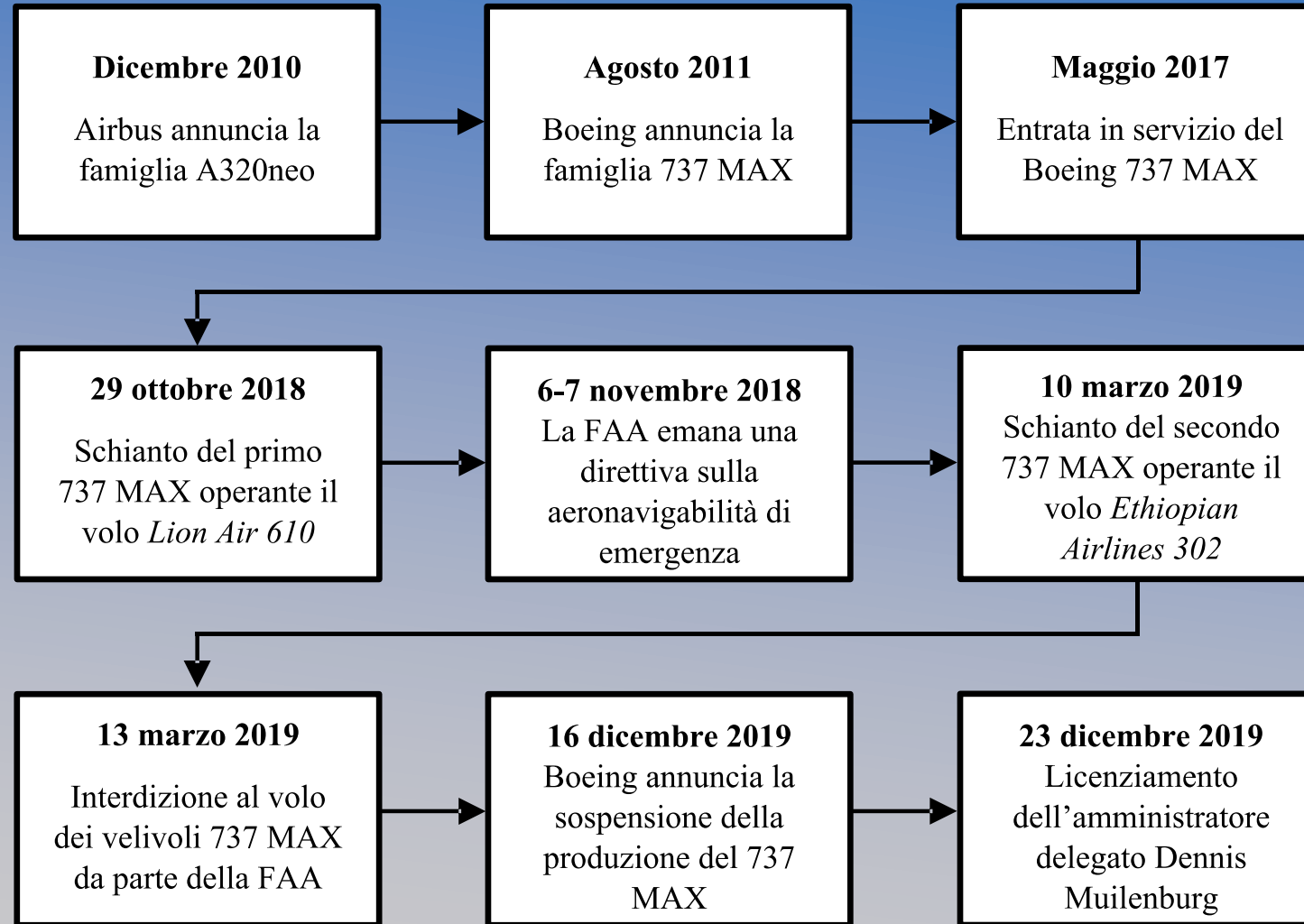
Si puntava alla riduzione dei consumi, e quindi dei costi.

L'aggiornamento principale rispetto alla versione precedente (737NG) riguarda l'impianto propulsivo, con determinate conseguenze:

- Introduzione MCAS
- Allungamento dei carrelli
- Riposizionamento delle gondole



# Evoluzione degli eventi



# Volo JT610

Il primo incidente verificatosi è quello del volo *Lion Air 610* (JT610).

Data: 29/10/2018

Partenza:

23:21 UTC, Jakarta, Indonesia

Perdita del contatto:

23:32 UTC, Mare di Giava

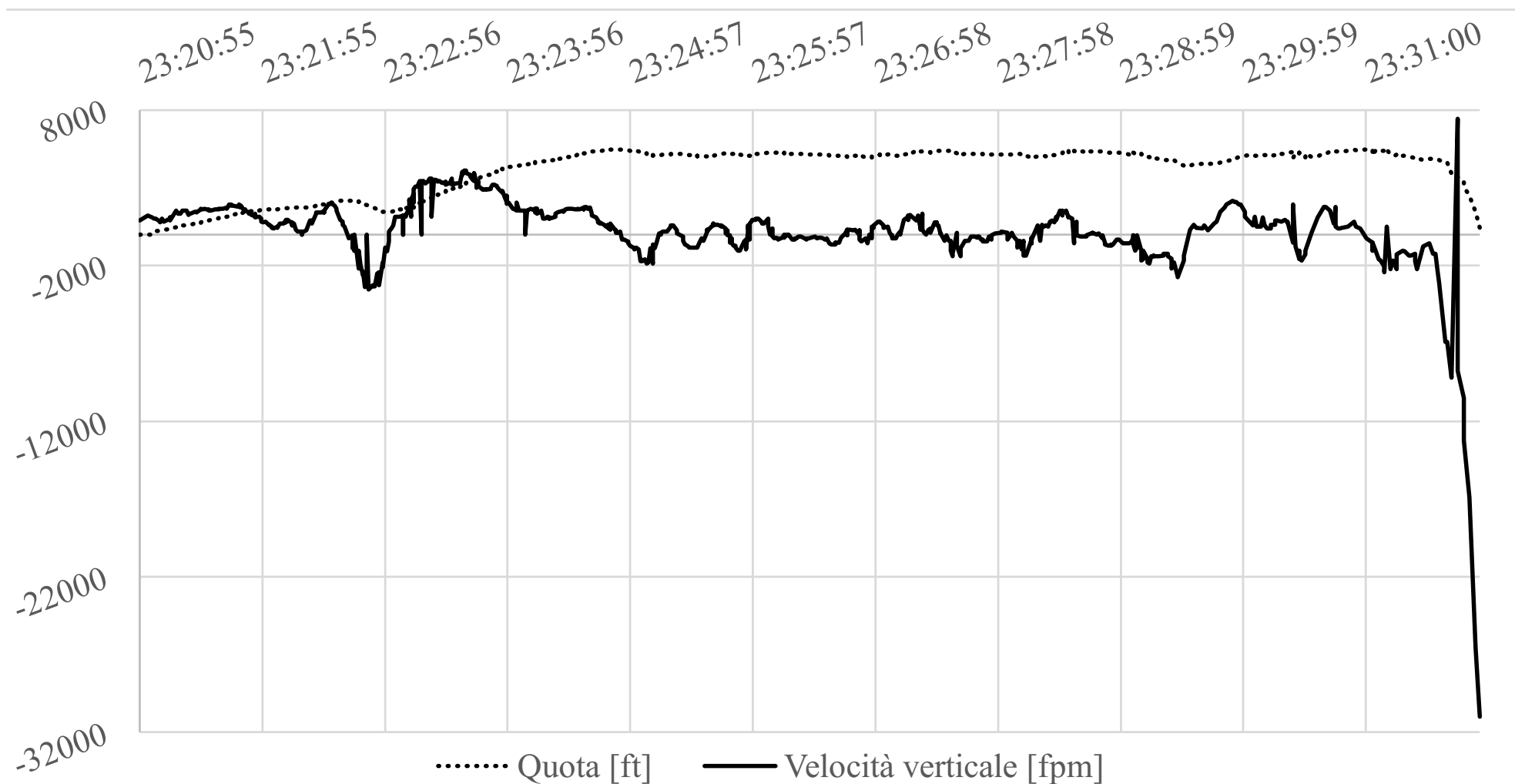
Numero di vittime: 189

Dinamiche: forte tendenza del velivolo a picchiare, **che l'ha** portato a perdere quota molto **velocemente nell'ultimo minuto di volo**.



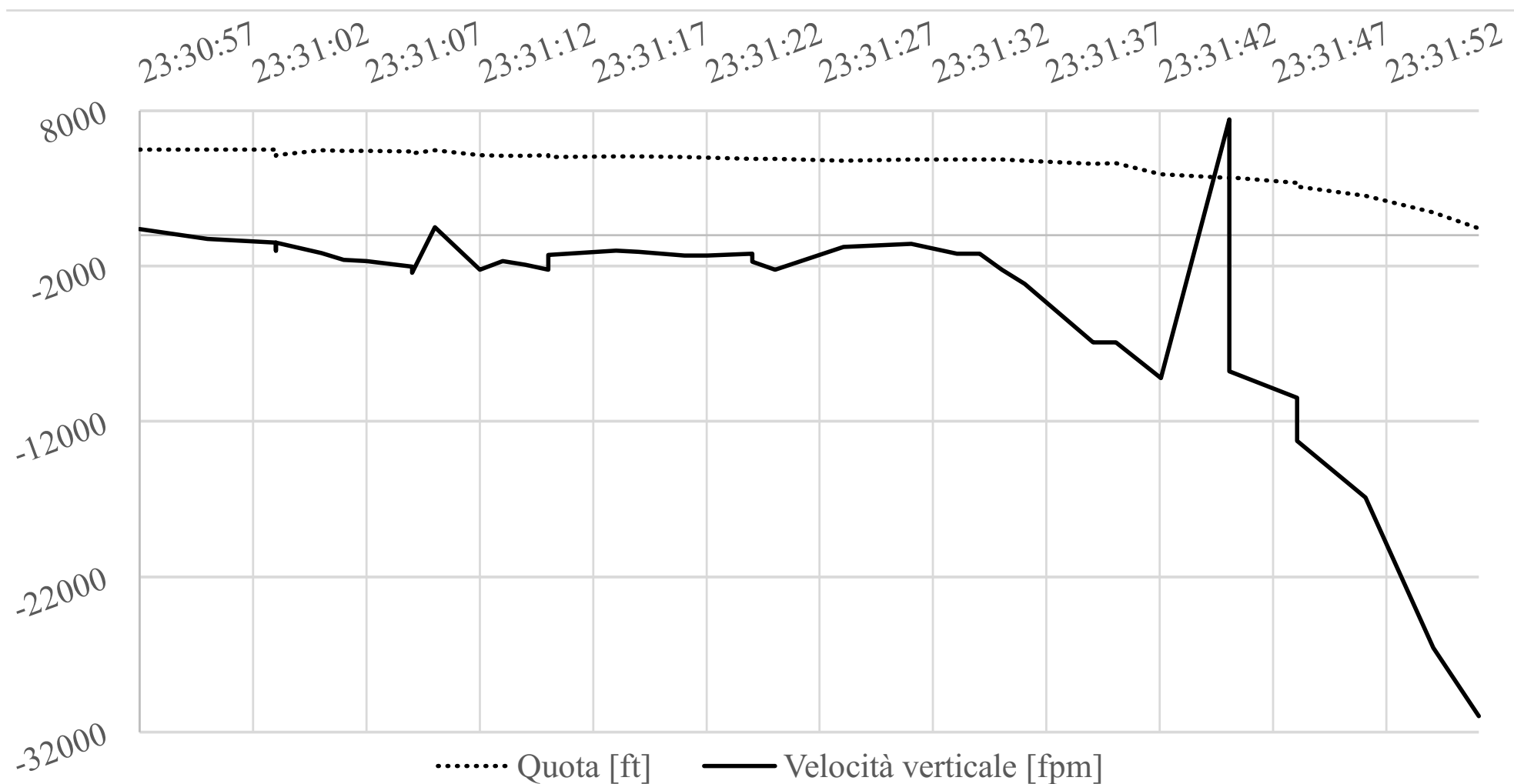
Fonte: Flight Radar

# Volo JT610



Fonte: Flight Radar

# Volo JT610



Fonte: Flight Radar



# Volo ET302

Il secondo incidente verificatosi è quello del volo *Ethiopian Airlines 302* (ET302).

Data: 10/03/2019

Partenza:

05:38 UTC, Addis Abeba, Etiopia

Perdita del contatto:

05:41 UTC

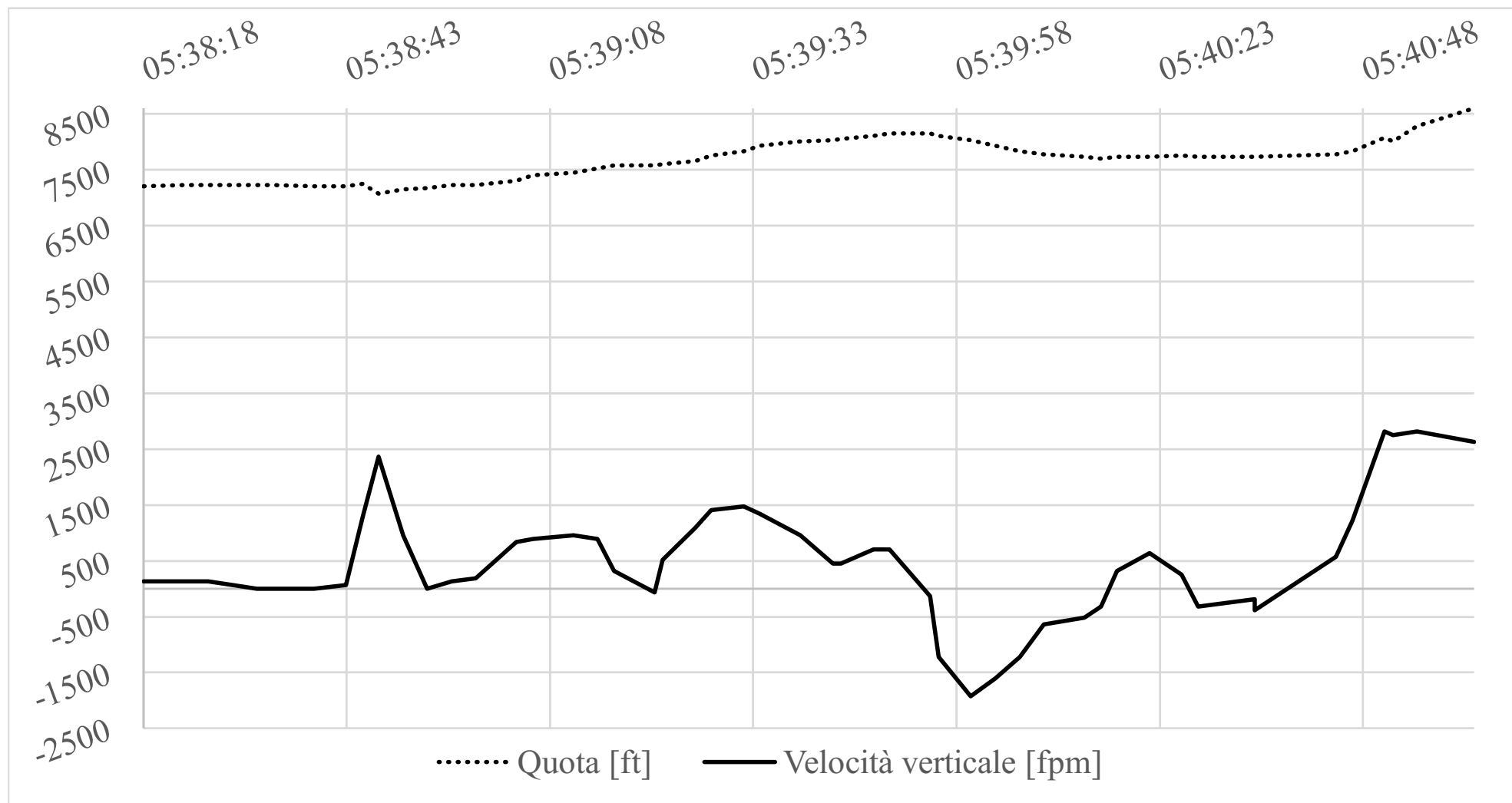
Numero di vittime: 157

Dinamiche: forte tendenza del velivolo a picchiare, **che l'ha** portato a precipitare schiantandosi al suolo a più di 1100km/h.



Fonte: Corriere della Sera

# Volo ET302



Fonte: Flight Radar



# Modifica dei motori

I nuovi motori sono più grandi e presentano un BPR maggiore: è stato necessario effettuare modifiche ai carrelli e al posizionamento delle gondole, spostate in avanti **rispetto all'ala e più in alto, per poter** rispettare la corretta distanza dal suolo (43cm).



**L'obiettivo era quello di evitare** la progettazione di un velivolo ex novo, con conseguente necessità di riformare tutti i membri degli equipaggi delle compagnie aeree acquirenti.

Infatti, Boeing ha dichiarato che pilotare il nuovo velivolo avrebbe richiesto le stesse conoscenze necessarie per il velivolo della generazione precedente.

# Modifica dei motori

Le gondole sono corpi aerodinamici, e la loro traslazione in avanti comporta un braccio maggiore della loro portanza rispetto al baricentro del velivolo, con conseguente tendenza dello stesso a cabrare. Questi effetti destabilizzanti si osservano specialmente agli alti **angoli d'attacco**.

Il MCAS, quindi, aumenta **l'incidenza dello** stabilizzatore, generando un momento picchiante.

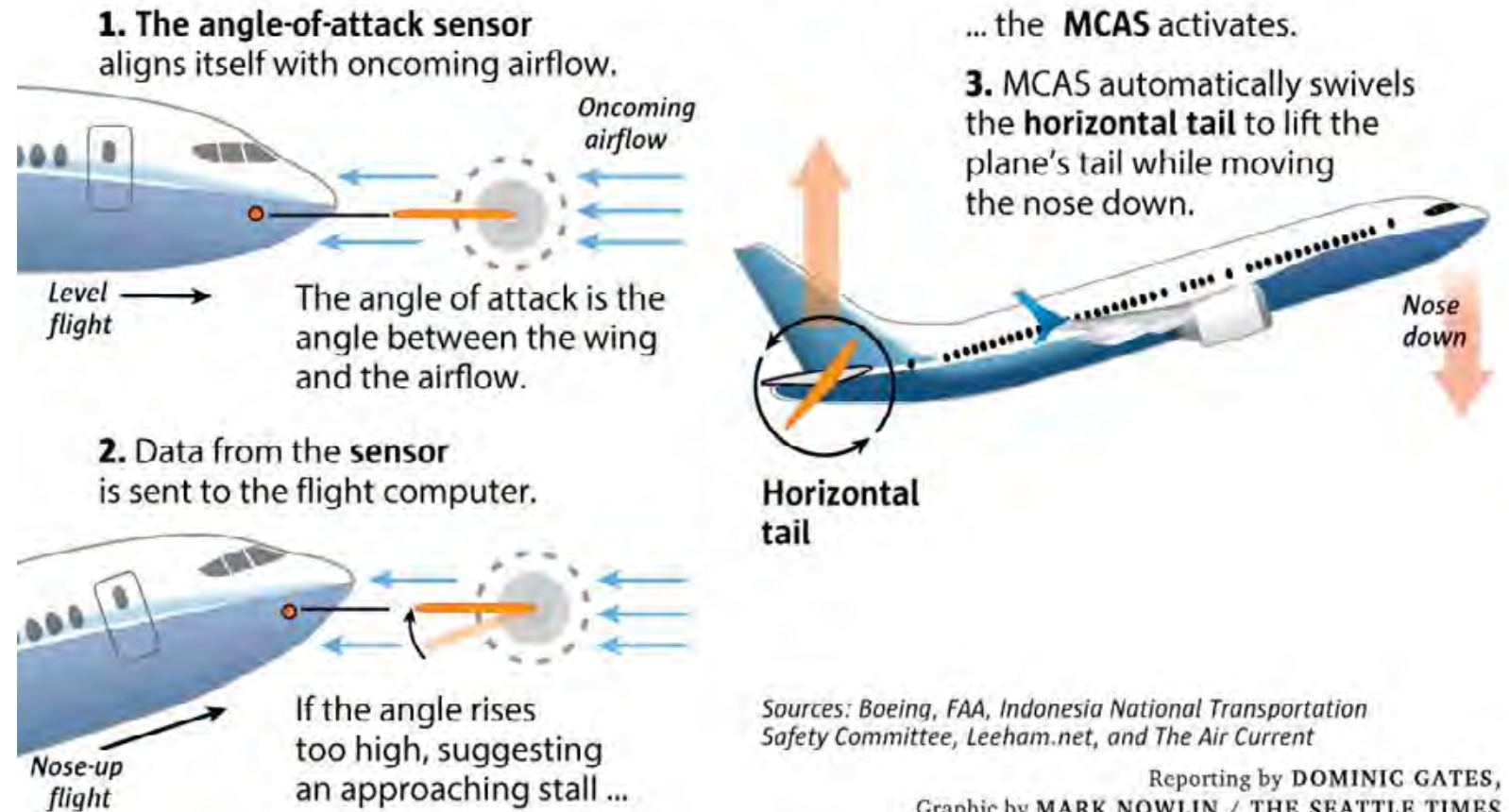


# MCAS

Le nuove gondole provocano una non linearità ai comandi del pilota, specialmente agli alti AOA e alle alte velocità (quindi ad alti fattori di carico, a flap non deflessi): si è introdotto il *Maneuvering Characteristics Augmentation System* (MCAS).

È un sistema di controllo automatico al beccheggio, svincolato dai comandi del pilota, con lo scopo di emulare le caratteristiche di manovrabilità e di stabilità del 737 NG.

## How the MCAS (Maneuvering Characteristics Augmentation System) works on the 737 MAX





# MCAS

Il MCAS ruota lo stabilizzatore in base ai dati restituiti da sensore di AOA e accelerometro.

La prima versione prevedeva una rotazione di  $0.6^\circ$  ogni 10 secondi.

Successive prove di volo hanno mostrato la necessità di estendere **l'utilizzo del sistema anche a** basse velocità e a flap deflessi, ovvero in fase di salita (bassi fattori di carico, quindi si esclude il dato **dell'accelerometro**).

Questa seconda versione prevedeva una rotazione di  $2.5^\circ$  ogni 10 secondi.



Stabilizzatore del velivolo Embraer ERJ-170

# Identificazione delle cause

La causa può essere identificata nell'accoppiamento di due tipologie di errori:

- Sistematici
  - 1) Omissione del MCAS nei manuali di volo e **di addestramento dell'equipaggio**
  - 2) Affidamento del MCAS ad un solo sensore AOA
  - 3) **Problematiche legate all'allarme AOA DISAGREE**
  - 4) La disattivazione del MCAS era accoppiata a quella del sistema del trim
  - 5) Risoluzione non diretta della problematica di stabilità del velivolo
  - 6) Fretta nella progettazione per poter competere in mercato con Airbus
- Aleatori
  - 1) Malfunzionamenti dei sensori AOA
  - 2) Manutenzioni erranee





# Interdizione al volo



Pochi giorni dopo il secondo incidente, il 13/03/2019, la FAA ha interdetto al volo l'intera famiglia di Boeing 737 MAX.

La produzione è rallentata, fino a quando si è fermata nel dicembre del 2019.

Nazione	Compagnia aerea	Numero di esemplari
USA	<i>Southwest Airlines</i>	34
USA	<i>American Airlines</i>	24
Canada	<i>Air Canada</i>	24
Cina	<i>China Southern Airlines</i>	22
Norvegia	<i>Norwegian Air</i>	18
altri	---	225

Velivoli interdetti al volo



# Conseguenze su Boeing



Alla fine del luglio 2020, gli ordini erano diminuiti di 836 aerei.

	2020	2019	2018	2017	2016
Airbus	297	768	747	1109	731
Boeing	-1048	-87	893	912	668

Ordini di velivoli per Boeing e Airbus

Nel novembre 2020, i costi diretti del blocco ammontavano a 20Mrd\$, quelli indiretti oltre 60Mrd\$.

Una riunione speciale del consiglio ha valutato possibili riduzioni del personale.

Il 23 dicembre 2019, il CEO Dennis Muilenburg si è dimesso, sotto pressioni del direttivo.

# Conseguenze su altre aziende



Altre aziende sono state interessate **dall'interdizione al volo di questi velivoli.**

Ryanair è stata costretta a licenziare 500 piloti e 400 membri **dell'equipaggio.**

Air Italy ha deliberato la liquidazione e la cessazione delle proprie operazioni di volo.

Spirit AeroSystems ha annunciato nel maggio 2020 il licenziamento di 4250 dipendenti nella sede di Wichita.

Tra le altre aziende interessate dalla crisi si annoverano General Electric e Honeywell.



# Aggiornamenti MCAS



Il MCAS è stato aggiornato, confrontando i dati restituiti da entrambi i sensori AOA.

**È stato eliminato l'accoppiamento tra disattivazione di MCAS e del sistema elettrico del trim.**

Il sistema non può manovrare lo stabilizzatore più di quanto possa essere fatto dai piloti tirando la barra per contrastarne gli effetti.

Questi aggiornamenti riducono il carico di **lavoro dell'equipaggio in situazioni di volo non normali**, e impediscono che dati errati causino l'attivazione del MCAS.

# Ricertificazione e rientro in esercizio



La revisione del progetto del 737 MAX ha richiesto più di 22 mesi, comprendendo ore di volo, test al simulatore, test di certificazione e rivalutazione dei documenti.

La ricertificazione è avvenuta nel novembre 2020.

Il primo volo di linea di un 737 MAX è stato effettuato il 10 dicembre 2020, dalla compagnia aerea brasiliana *Gol Transportes Aéreos*.

# Conclusioni

Mediante l'analisi dei dati, il fallimento del Boeing 737 MAX può essere attribuito alla fretta dell'organizzazione per lo sviluppo, mancando sulla parte formativa e comunicativa dell'implementazione tecnologica, nel processo di raggiungimento dell'eccellenza della stessa.

L'azienda statunitense deve abbandonare una logica di progetto spinta da interessi prettamente economici.

I costruttori internazionali, infatti, sono ad oggi pochissimi: una maggiore **concentrazione sull'evoluzione dei propri prodotti** potrebbe solamente fornire maggiori garanzie e sicurezza, sia per Boeing che per le compagnie aeree acquirenti, e i loro clienti.

# Discussione sull'etica ingegneristica

Tutti i codici etici contemporanei promulgati dalle principali società di ingegneria affermano che la responsabilità primaria di un ingegnere è proteggere sicurezza, salute e benessere del pubblico, con lo scopo di ricercare soluzioni in grado di aumentare il *comfort* individuale e il benessere collettivo.

**Nasce l'esigenza di affrontare** l'innovazione in maniera consapevole, sentendosi responsabili non solo del buon funzionamento delle tecnologie, ma anche delle loro conseguenze.





# Grazie per l'attenzione

