

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Analisi dell'impianto elettrico e bilancio
energetico di un business jet: il caso di
studio Gulfstream G650»***

Tutor universitario: Prof. Sanniti Francesco

Laureando: *Massignan Andrea - 2102467*

Padova, 21/07/2026

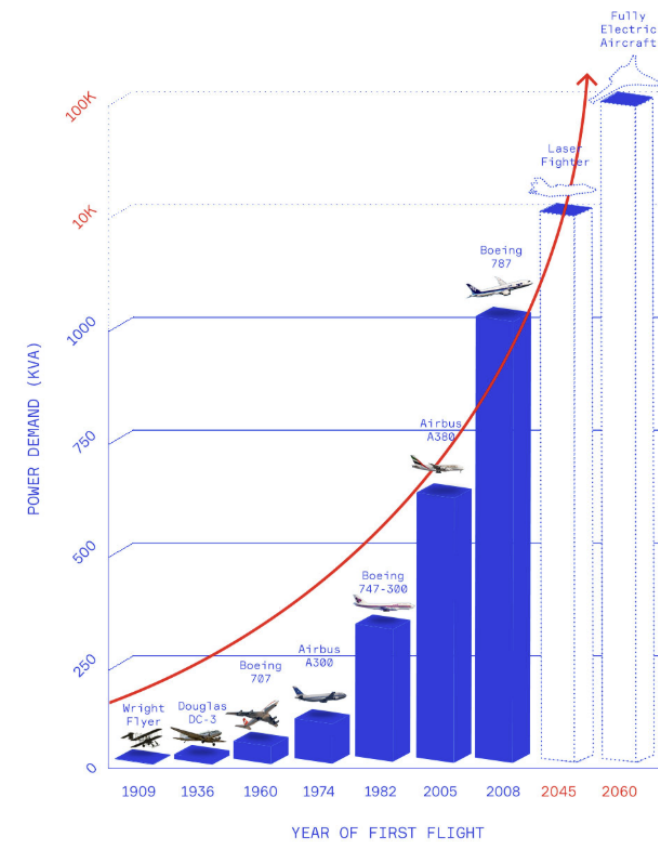
Introduzione:

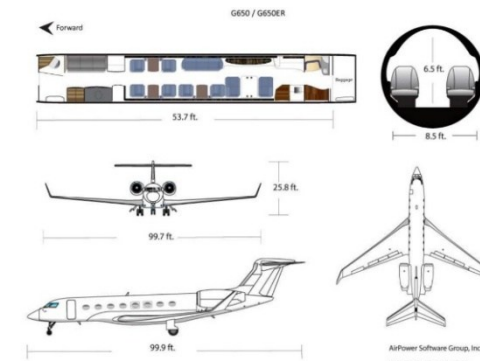
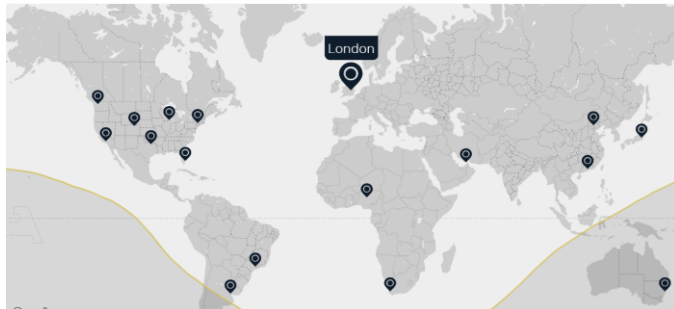
- Transizione dell'industria verso la More Electric Aviation
- Sostituzione dei sistemi pneumatici/idraulici: forte incremento della richiesta energetica a bordo

Obiettivi del lavoro:

1. Analizzare la complessa architettura elettrica di un velivolo di riferimento: il Gulfstream G650
2. Analizzare le metodologie e i principi per lo svolgimento dell'Electrical Load Analysis
3. Verificare il corretto dimensionamento dei generatori nelle diverse condizioni operative

Evolution of Airborne Electrical Power Needs





- Business jet ultra-long-range
- Altitudine massima: 51.000 ft
- Velocità massima: Mach 0,925
- Range massimo: 7000 nm

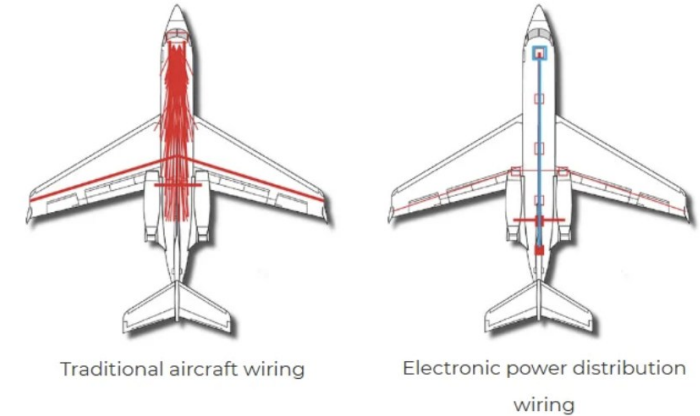
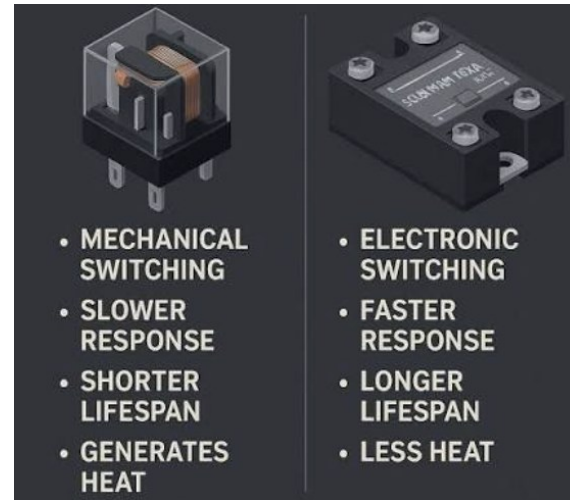
Impatto sui fabbisogni elettrici:

- Avioniche: fly-by-wire e computer di volo (critici)
- Comfort di cabina (hotel loads): galley, intrattenimento



Innovazione nella distribuzione:

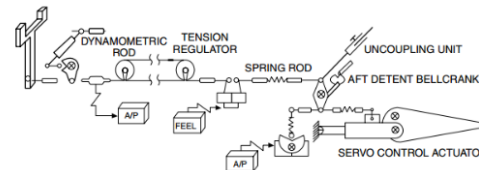
- Solid State Power Controllers
- Gestione digitale tramite BPCU
- Load Shedding automatico in caso di avaria



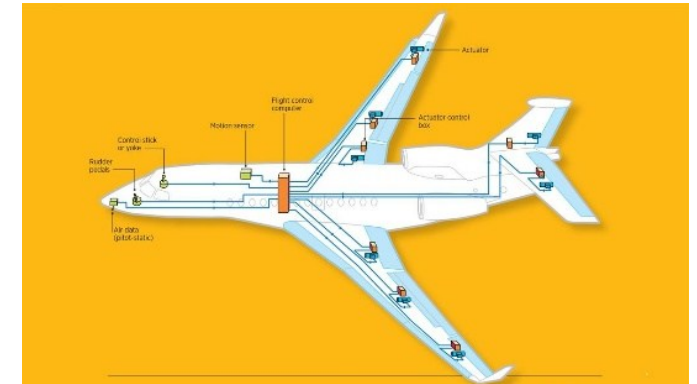
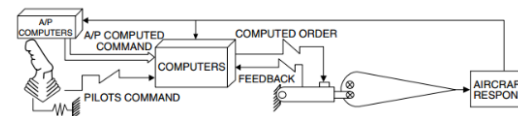
Architettura fly-by-wire:

- Sostituzione di cavi e pulegge con sistemi elettronici
- Criticità: necessità di ridondanza estrema

MECHANICAL FLIGHT CONTROLS



ELECTRICAL FLIGHT CONTROLS (FLY BY WIRE)



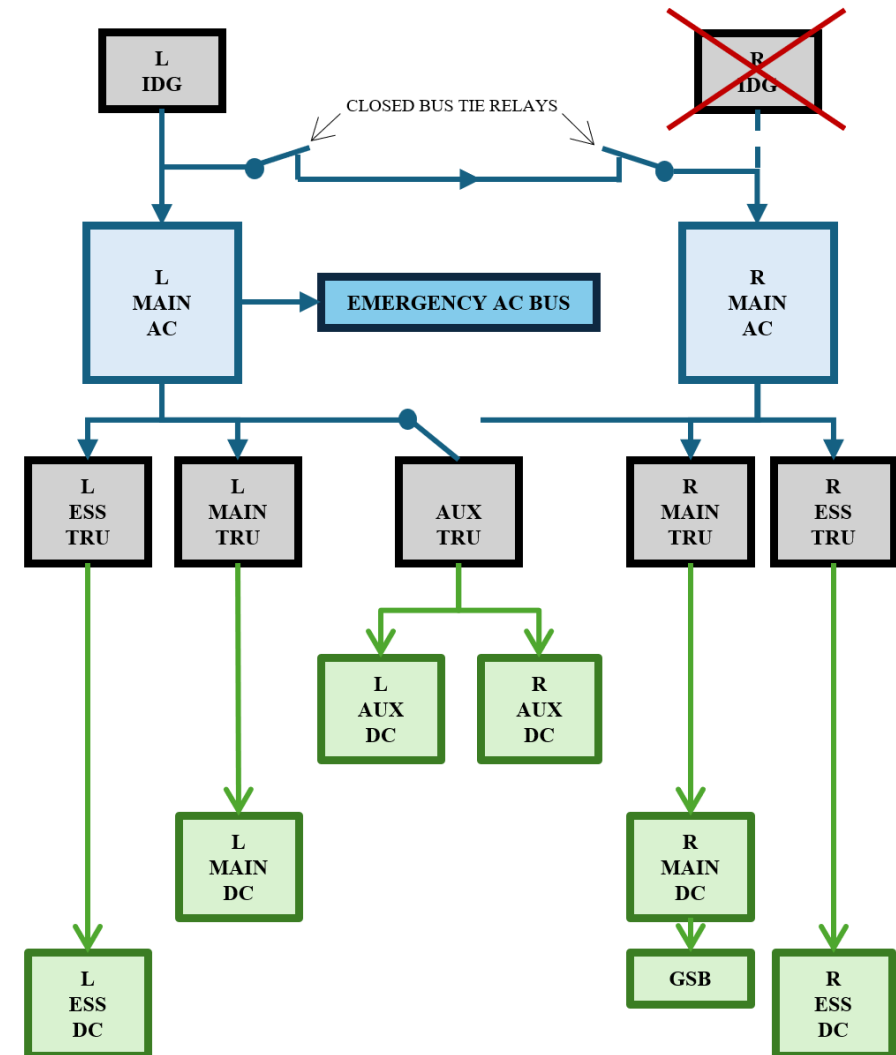
Impianto a split BUS: 2 reti (destra-R e sinistra-L)
separate e indipendenti per evitare la propagazione dei guasti

Impianto AC:

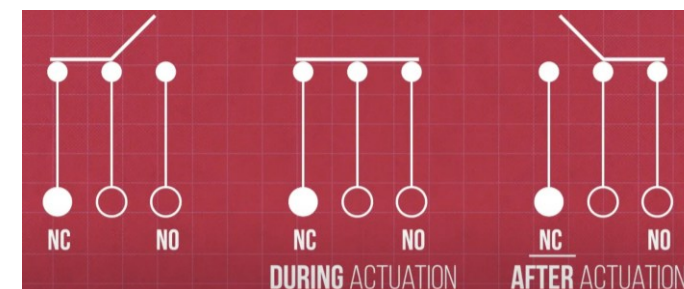
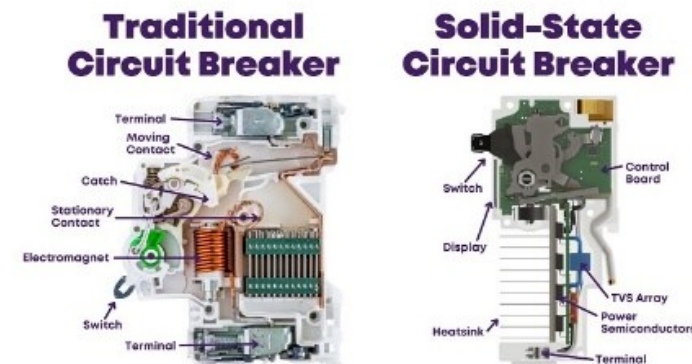
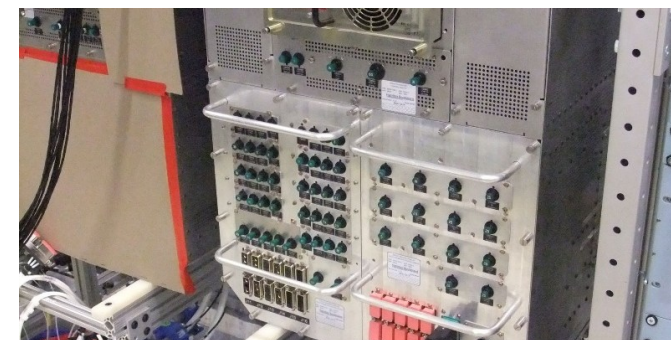
- Tensione nominale: 115 V
- Frequenza costante: 400 Hz
- Vantaggi: drastica riduzione del peso dei componenti magnetici, semplicità di conversione, limitate correnti di corto circuito

Impianto DC:

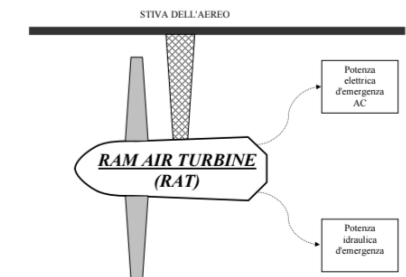
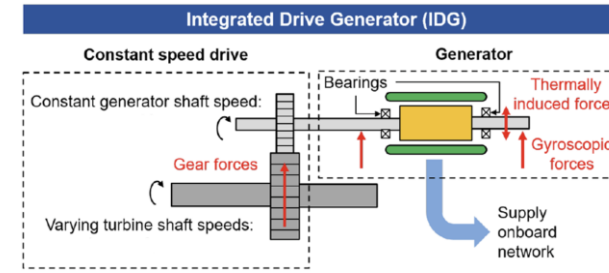
- Tensione nominale: 28 V
- Vantaggi: semplicità d'impianto, connessione alle batterie, sorgenti in parallelo



- **BPCU (Bus Power Control Unit):** controllano il sistema monitorando le reti e connettono i carichi ai relativi bus
- **BTB (Bus Tie Breaker):** interruttori elettromeccanici che collegano gli utilizzatori e proteggono dai sovraccarichi
- **SSPC (Solid State Power Controller):** interruttori digitali allo stato solido che sostituiscono i BTB
- **NBPT (No Break Power Transfer):** sistema che permette di cambiare la sorgente di potenza senza l'interruzione dell'alimentazione
- **Load Shedding:** logica di priorità che disconnette i carichi non essenziali in caso d'emergenza



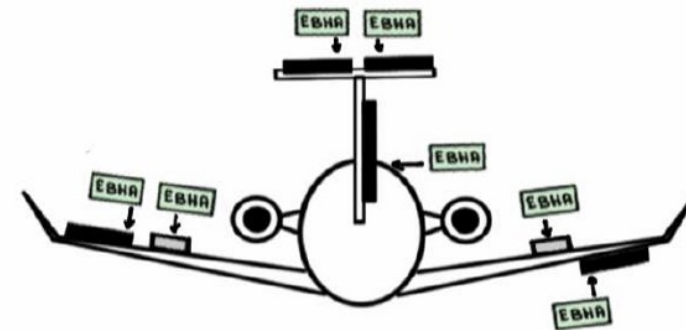
- **IDG (Integrated Drive Generator):** componente ibrido che integra Constant Speed Drive e generatore elettrico
 - 2 x 40kVA
 - AC 115 V, 400 Hz trifase
- **APU (Auxiliary Power Unit):** turbina a regime costante con generatore elettrico
 - 40kVA
 - AC 115 V, 400 Hz trifase
- **RAT (Ram Air Turbine):** elica dispiegata automaticamente in caso di emergenza e mossa dal flusso aerodinamico
 - 15 kVA
 - AC 115 V, 400 Hz trifase



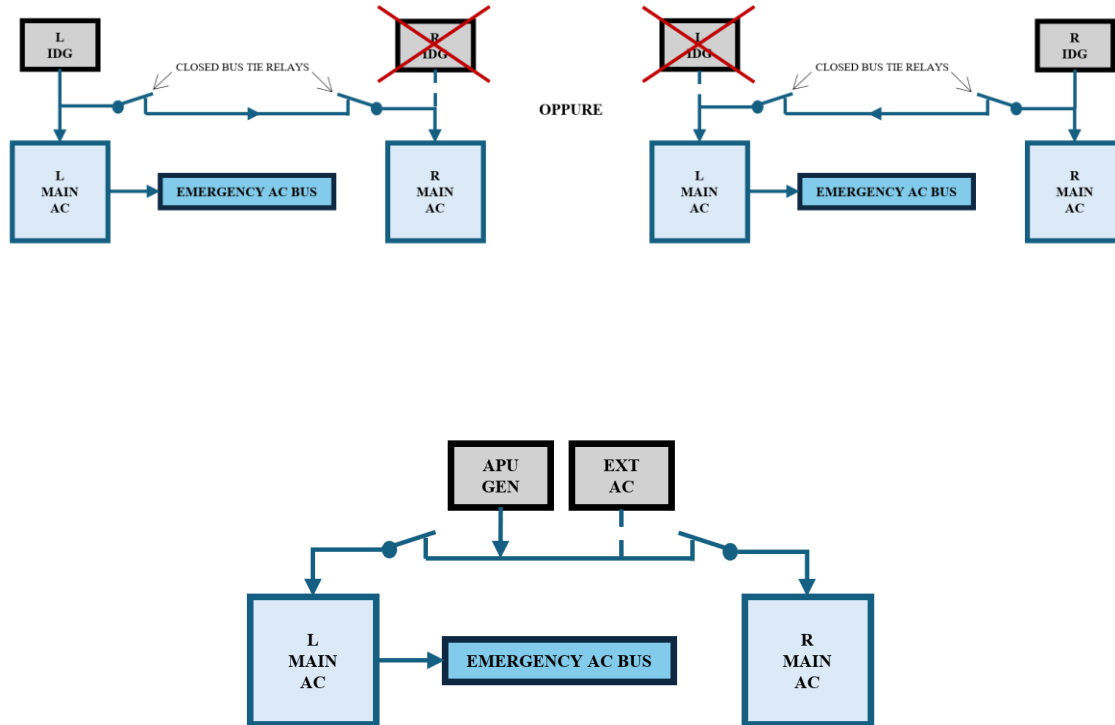
- **Alimentazione esterna a terra:** AC o DC (funzioni limitate)
 - max 40 kVA
 - AC 115 V, 400 Hz trifase
- **AC-AC converter 60 Hz:** per fornire alimentazione a tensione e frequenza domestiche
- **Static Inverter:** da DC ad AC per alimentare il Cabin Pressure Control (CPC)
- **TRU (Transformer Rectifier Unit):** conversione da AC a DC
 - 5 (ognuno per un bus dedicato)
 - DC 28 V, max 250 A



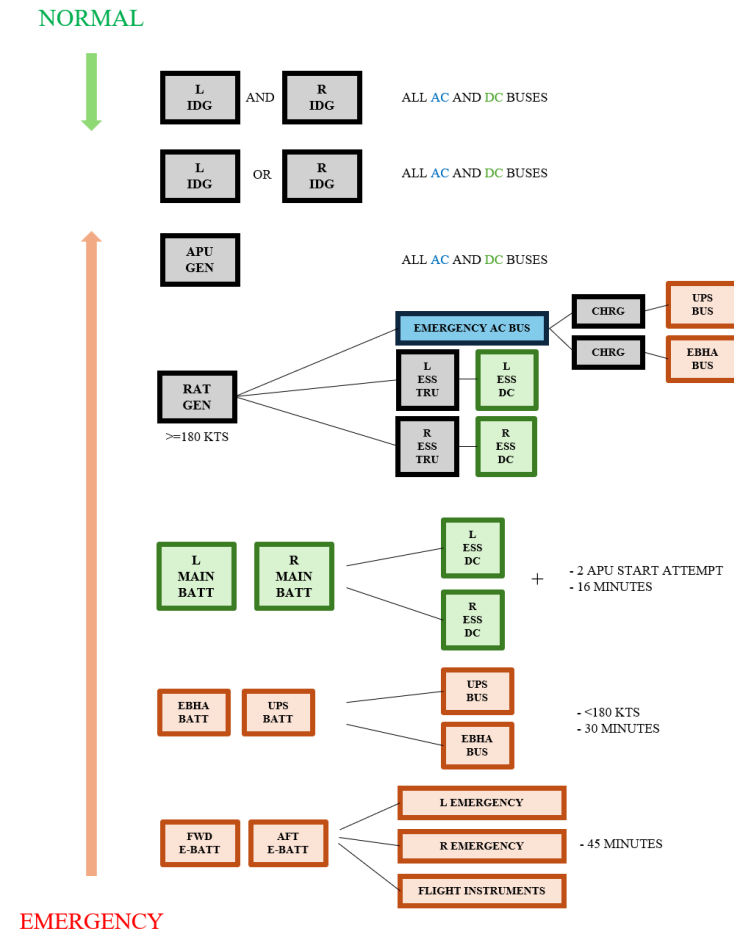
- **Main Batteries:** in caso d'emergenza vengono usate per avviare l'APU, alimentare la pompa idraulica ausiliaria e i bus DC degli strumenti essenziali per 16 minuti
 - 2 x Ni-Cd, 21 celle, 53 Ah 28V
- **Flight Control Batteries:** alimentano per 30 minuti i controlli di volo
 - EHBA: Ni-Cd, 28 V, 53 Ah. Alimenta gli attuatori idraulici per il controllo del velivolo
 - UPS: Pb-acido, 24 V, 10,5 Ah. Alimenta i computer per il controllo di volo
- **Emergency Batteries:** alimenta per 45 minuti gli strumenti essenziali in caso d'emergenza
 - Pb-acido , 24 V, 10,5 Ah



■ Perdita di un IDG o di un motore



■ Schema alimentazione bus in crociera normale e in emergenza



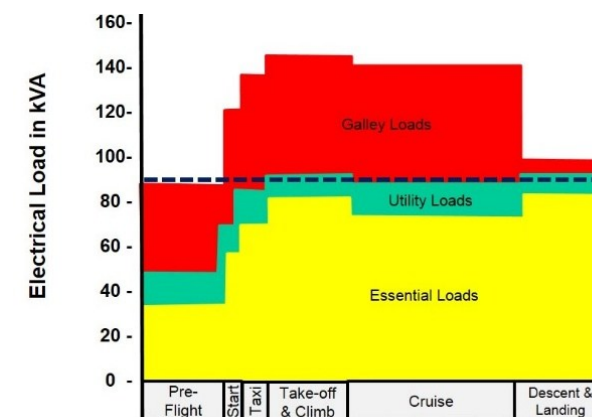
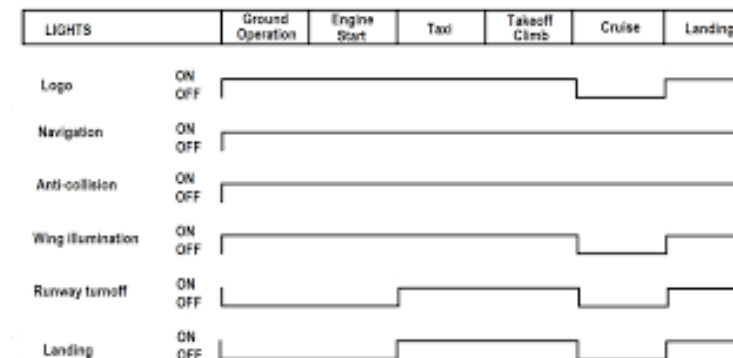
- **Obiettivo:** verificare che le fonti di generazione siano adeguatamente dimensionate per tutte le condizioni di volo. È un documento ufficiale parte della certificazione del velivolo

■ Classificazione dei carichi:

- Continui: >5 min
- Intermittenti: <5 min
- Transitori: picchi di pochi secondi

■ Condizioni operative valutate:

- Crociera normale: sia carichi essenziali che hotel loads
- Avaria singola: Load Shedding
- Avaria motori e APU: Load Shedding estremo



Categoria / Sottosistema	Componente	Bus e Tensione	Assorbimento Nominale	Q.tà	Carico Totale Connesso	Duty Cycle (Crociera)	Fase: Crociera Normale	Fase: Emergenza (1 Motore)	Fase: Emergenza (RAT)
Avioniche e Display	Strumenti e display	28 V DC	0.10 kW	8	0.80 kW	100%	0.80 kW	0.80 kW	0.40 kW
	Computer di bordo	28 V DC	0.10 kW	3	0.30 kW	100%	0.30 kW	0.30 kW	0.10 kW
	Comunicazioni	28 V DC	0.15 kW	3	0.45 kW	30%	0.14 kW	0.14 kW	0.05 kW
	Radar meteo	28 V DC	0.40 kW	2	0.80 kW	100%	0.80 kW	0.40 kW	0.00 kW
Controllo Volo (FBW)	Electrical Backup Hydraulic Actuators (EBHA)	28 V DC	1.50 kW	4	6.00 kW	5%	0.30 kW	0.30 kW	0.30 kW
	FBW Control Computers	28 V DC	0.15 kW	2	0.30 kW	100%	0.30 kW	0.30 kW	0.30 kW
Sistemi Antighiaccio	Windshield Heat	115 V AC	2.00 kW	2	4.00 kW	50%	2.50 kW	2.50 kW	0.00 kW
	Heater vari	115 V AC	0.30 kW	4	1.20 kW	100%	1.20 kW	1.20 kW	0.60 kW
Impianto Combustibile	Fuel Pumps	115 V AC	0.70 kW	2	1.40 kW	100%	1.40 kW	0.70 kW	0.00 kW
Impianto Idraulico	Pompa idraulica	115 V AC	6.00 kW	1	6.00 kW	10%	0.60 kW	0.60 kW	2.00 kW
Impianto Ambientale	Ricircolo aria e climatizzazione	115 V AC	2.00 kW	1	2.00 kW	100%	2.00 kW	1.00 kW	0.00 kW
Illuminazione	Luci di navigazione	115 V AC	0.20 kW	4	0.80 kW	100%	0.80 kW	0.80 kW	0.00 kW
	Luci di atterraggio	115 V AC	0.60 kW	4	2.40 kW	0%	0.00 kW	0.00 kW	0.00 kW
	Luci cabina (LED)	28 V DC	0.02 kW	20	0.40 kW	100%	0.40 kW	0.20 kW	0.10 kW
Comfort	Galley (forni, frigoriferi...)	115 V AC	8.00 kW	1	8.00 kW	30%	2.40 kW	0.00 kW	0.00 kW
	Prese cabina	115 V AC	1.00 kW	3	3.00 kW	10%	0.30 kW	0.00 kW	0.00 kW
	Intrattenimento	115 V AC	0.10 kW	4	0.40 kW	50%	0.20 kW	0.00 kW	0.00 kW

■ **Crociera:** 15 kW (19%). Motivazioni sovradimensionamento:

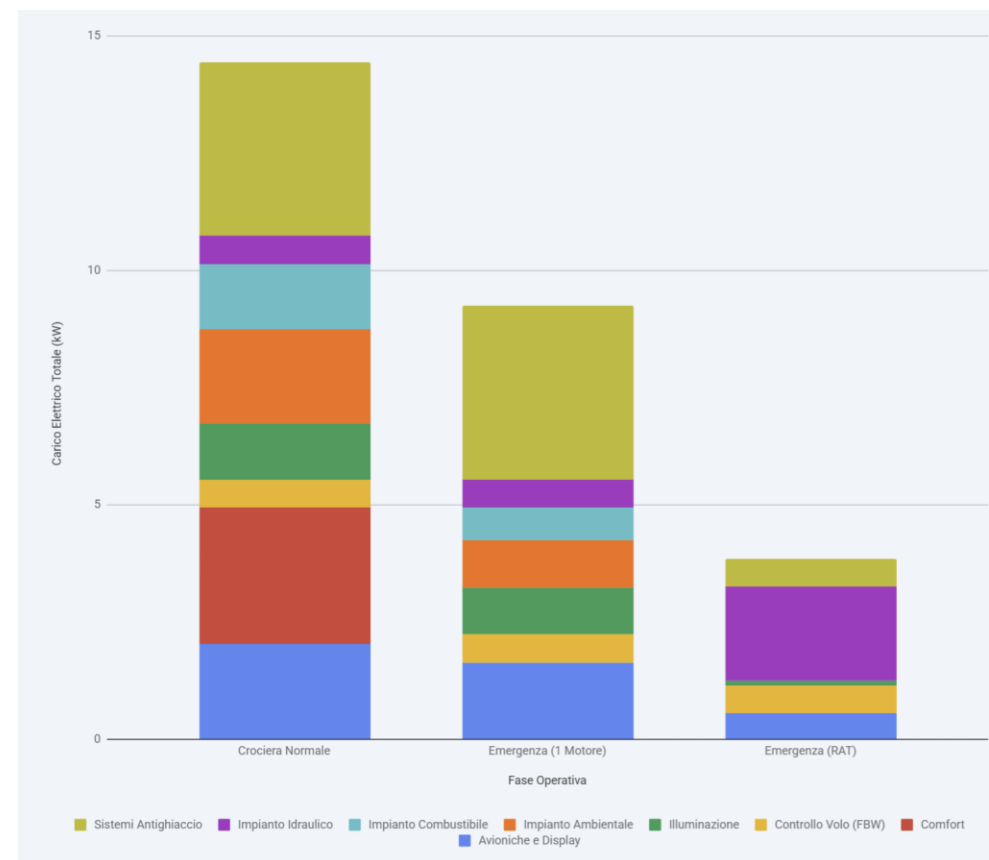
- Integrazione idraulica ed elettrica
- Affidabilità
- Growth Margin

■ **Avaria singola:** 9 kW (23%)

- Shedding hotel loads
- Avvio APU

■ **Condizione estrema:** 4 kW (27%)

- Shedding estremo
- Avvio pompa elettrica



- Osservazione dell'impatto della transizione verso la MEA
- Aumento dei fabbisogni elettrici
- Sviluppo di reti di distribuzione intelligenti
- Nuovi e stringenti vincoli di sicurezza (FBW)

TRADITIONAL AIRCRAFT	MORE ELECTRIC AIRCRAFT
	
POWER SOURCES MECHANICAL, HYDRAULIC, PNEUMATIC	PRIMARILY ELECTRICAL
SYSTEM COMPONENTS HYDRAULIC PUMPS, PNEUMATIC DUCTS, MECHANICAL LINKAGES	ELECTRIC ACTUATORS. POWER ELECTRONICS, ELECTRIC MOTORS
ENERGY EFFICIENCY LOWER (DUE TO ENERGY CONVERSION LOSSES)	MOSTLY ELIMINATED MOSTLY ELIMINATED
ENGINE BLEED AIR USED FOR CABIN PRESSURIZATION, DE-ICE, ETC.	LOWER SIMPLER, CLEANER SYSTEMS)
MAINTENANCE HIGHER (DUE TO FLUID SYSTEMS AND - M ≠ MECHANICAL WEAR)	HIGH - SOLID-STATE COMPONENTS, BETTER DIAGNOSTICS
WEIGHT HEAVIER DUE TO FLUID LINES, RESERVOIRS	LIGHTER POTENTIAL WITH SYSTEM OPTIMIZATION