

Associazione Politecnica Italiana

in collaborazione con
DIPARTIMENTO POLITECNICO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
dell'Università degli Studi di Udine



F-35 Lightning II-JSF **Il Velivolo di 5^a Generazione**

Luciano Galfetti

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali
Politecnico di Milano

Sabato 10 Settembre 2016

Università degli Studi di Udine
Aula Magna
Piazzale Kolbe 4, Udine

F-35 Lightning II-JSF



F-35 Lightning II-JSF



Lockeed Martin F-35 Lightning II

- ❑ Il Lockheed Martin F-35 Lightning II è il primo velivolo supersonico, nella storia dell'aviazione, con decollo corto e atterraggio verticale (STOVL) e con caratteristiche stealth
- ❑ Ha una ineguagliata flessibilità di base ed avanzati sistemi che forniscono capacità multi-missione e lo rendono un insostituibile mezzo di supporto alle altre forze coinvolte in una missione bellica
- ❑ Le caratteristiche STOVL dell'F-35B lo abilitano ad operare da navi, strade e basi non attrezzate valorizzandone l'utilizzo in una pluralità di scenari fino ad oggi del tutto impensabili
- ❑ Con queste caratteristiche ridefinisce il caccia multiruolo. E' un caccia tattico, pensato per la guerra del futuro, non è una piattaforma da superiorità aerea
- ❑ Il velivolo specifico tende a scomparire. L'F-35 è concepito come piattaforma aerea multiruolo che può svolgere molteplici missioni a un buon livello, senza tuttavia eccellere in nessun ruolo
- ❑ La sua bassa osservabilità, la capacità dei sensori di bordo e l'integrazione delle informazioni con altre piattaforme conferiscono all'F-35 un enorme vantaggio rispetto ai velivoli che andrà a sostituire, essendo pensato per eliminare il nemico a distanza

Lockeed Martin F-35 Lightning II

- ❑ Il Lockheed Martin F-35 Lightning II (O Joint Strike Fighter-F35) è un caccia di quinta generazione, monoposto, con ala trapezoidale a caratteristiche stealth e capacità multiruolo
- ❑ E' concepito per missioni di superiorità aerea, supporto aereo ravvicinato e bombardamento tattico
- ❑ Il nome dell'aereo è stato scelto dall'aeronautica statunitense in onore del P-38 Lightning e dell'English Electric Lightning, velivoli operanti nella seconda guerra mondiale e nella guerra fredda
- ❑ Il primo volo è stato effettuato il 15 Dicembre 2006
- ❑ La progettazione e la costruzione è affidata ad un consorzio industriale costituito da Lockheed Martin, Northrop Grumman e BAE Systems

Esistono tre versioni dell'F35:

- ❑ **F-35A:** a decollo e atterraggio convenzionale
- ❑ **F-35B:** variante a decollo corto e atterraggio verticale per operare da portaerei di dimensioni ridotte
(*ad esempio l'italiana Cavour*)
- ❑ **F-35C:** variante per l'uso su portaerei convenzionali dotate di catapulte

F-35 Lightning II nelle Forze Armate Italiane

- ❑ L'Aeronautica Militare Italiana deve sostituire nel prossimo decennio Tornado e AMX che arriveranno alla fine della loro vita operativa tra 10-15 anni
- ❑ La Marina deve sostituire i 16 velivoli V/STOLAV8-B (Harrier II) acquistati a metà degli anni '90 dagli Stati Uniti
- ❑ Gli F-35 dovrebbero dunque subentrare a queste tre linee di velivoli delle Forze Armate Italiane

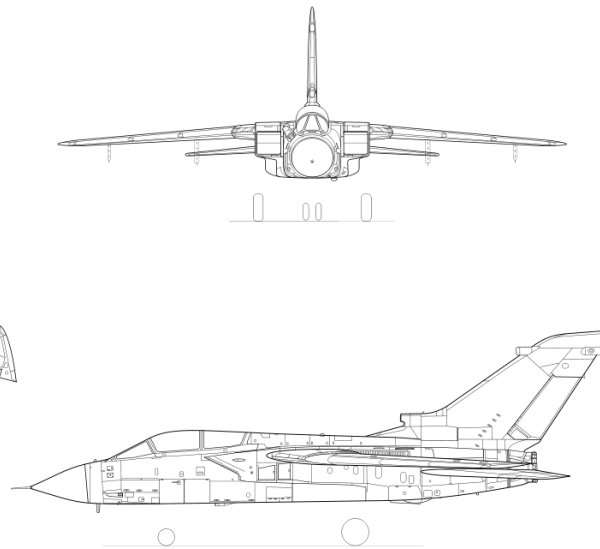
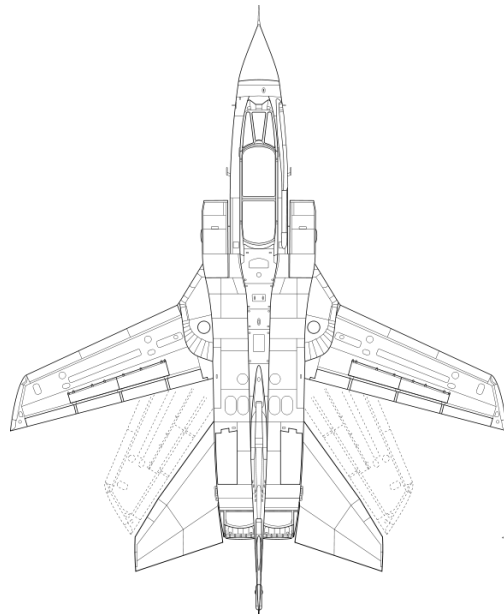
Tornado dell'Aeronautica Militare Italiana



Tornado dell'Aeronautica Militare Italiana in volo sull'Afganistan nel 2008

Caratteristiche tecniche del Tornado

- ❑ Apertura alare: da 8,60 a 13,91 m
- ❑ Superficie alare: 26,60 m²
- ❑ Lunghezza: 16,70 m
- ❑ Altezza: 5,95 m
- ❑ Peso a vuoto: 13600 kg
- ❑ Peso max al decollo: 28000 kg
- ❑ Impianto propulsivo: 2 turbofan Rolls-Royce RB199-34R con ab
- ❑ Spinta: 7256 kg
- ❑ Velocità massima: 1480 km/h (Mach 1,2)
2400 km/h (Mach 2,2)
- ❑ Velocità di salita: 76,7 m/s
- ❑ Tangenza: 15.240 m
- ❑ Autonomia: 3800 km



AMX dell'Aeronautica Militare Italiana



AMX dell'Aeronautica Militare Italiana in volo

Caratteristiche tecniche dell'AMX

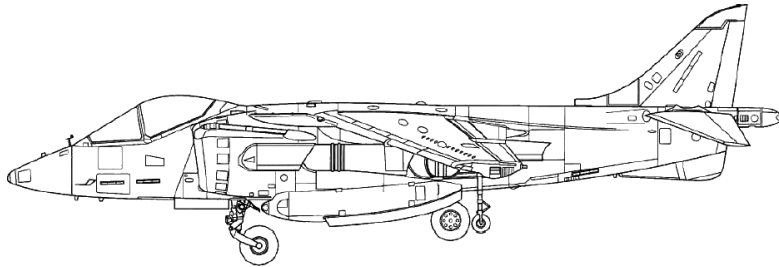
- ❑ Apertura alare: 9,97 *m*
- ❑ Lunghezza: 13,23 *m*
- ❑ Altezza: 4,55 *m*
- ❑ Peso massimo al decollo: 13000 *kg*
- ❑ Impianto propulsivo: turbofan Rolls-Royce Avio RB.168-807 Spey
- ❑ Velocità massima: 940 *km/h* (0,86 Mach)
- ❑ Tangenza: 13000 *m*
- ❑ Autonomia: 3.600 *km* (trasferimento)
- ❑ Equipaggio: 1 pilota/1-2 piloti
- ❑ Carichi esterni: fino a 3.800 *kg*
(serbatoi ausiliari, pod da ricognizione, missili aria-aria)

AV 8B Harrier II dell'Aeronautica Militare Italiana

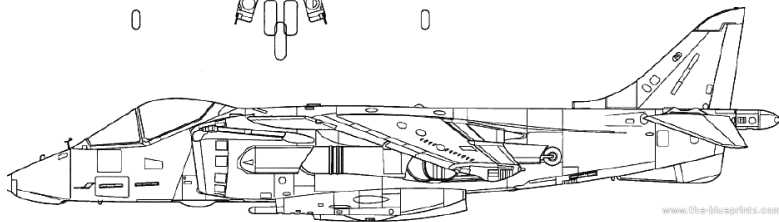
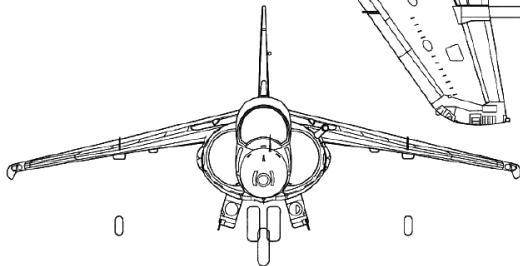
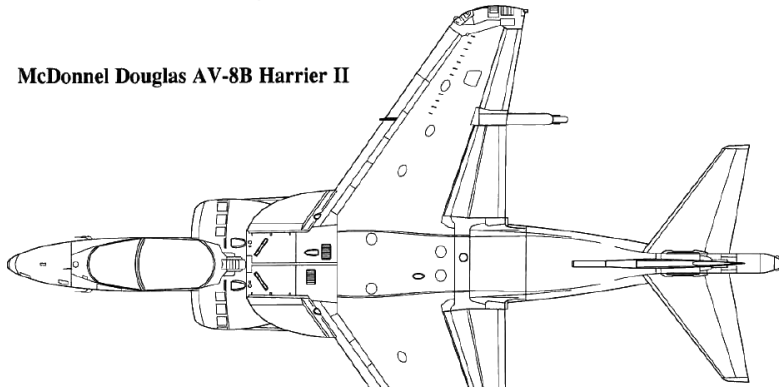


AV 8B Harrier II della Marina Militare Italiana sulla portaerei Garibaldi *(foto Ciarini)*

Caratteristiche tecniche dell'Harrier II

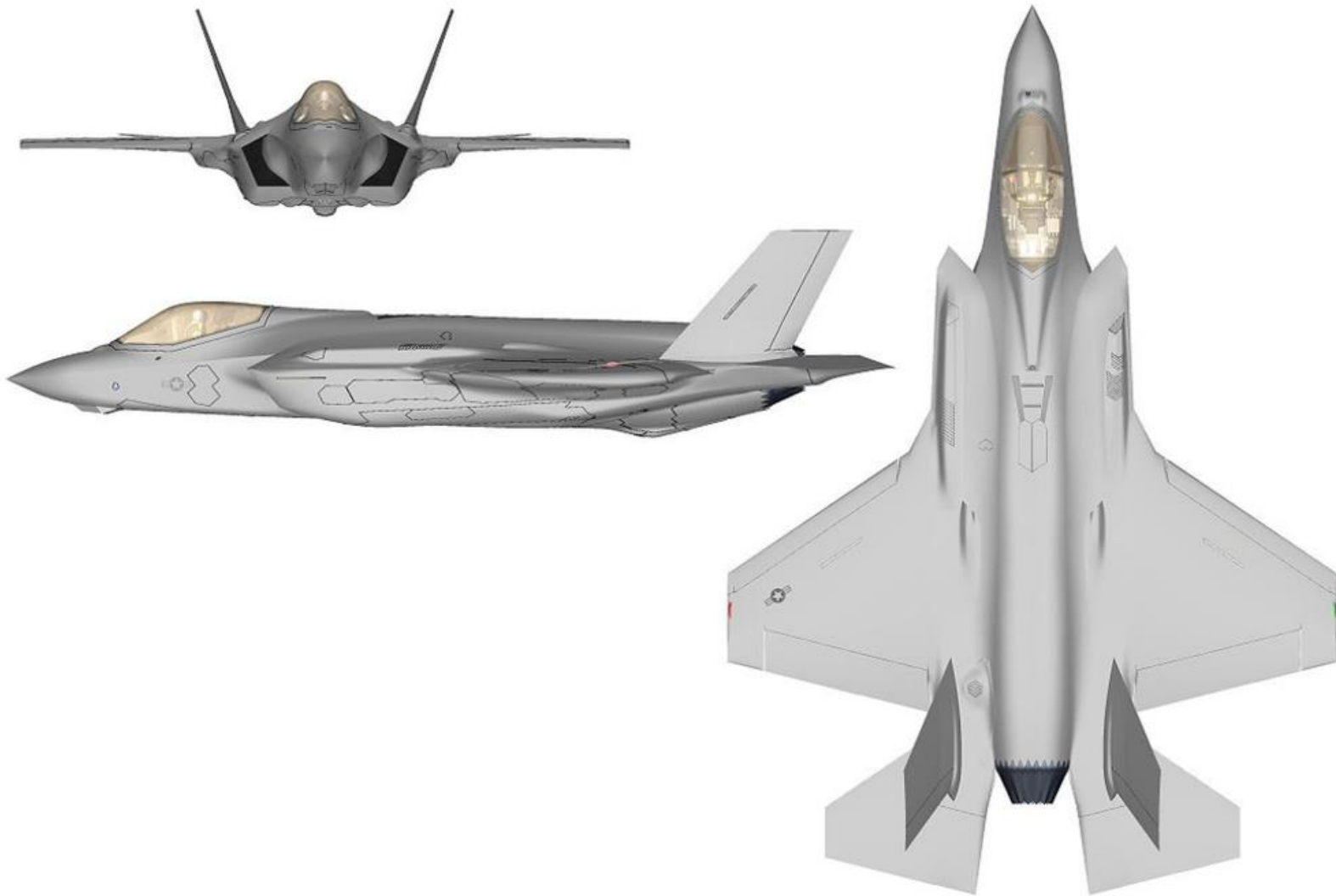


McDonnell Douglas AV-8B Harrier II



- ❑ Apertura alare: 9,25 m
- ❑ Superficie alare: 22,61 m²
- ❑ Lunghezza: 14,12 m
- ❑ Altezza: 3,55 m
- ❑ Peso a vuoto: 6340 kg
- ❑ Peso max al decollo: 14100 kg
- ❑ Impianto propulsivo: turbofan Rolls-Royce F402-RR-408 con thrust vectoring
- ❑ Spinta: 105 kN
- ❑ Velocità massima: 1077 km/h (Mach 0,89)
- ❑ Velocità di salita: 74,7 m/s
- ❑ Tangenza: 15.000 m
- ❑ Autonomia: 2200 km
- ❑ La Marina utilizza l'Harrier II Plus principalmente come intercettore per la difesa aerea della flotta, con un ruolo secondario di attacco

Lockeed Martin F-35 Lightning II: viste del velivolo



Lockeed Martin F-35A Lightning II

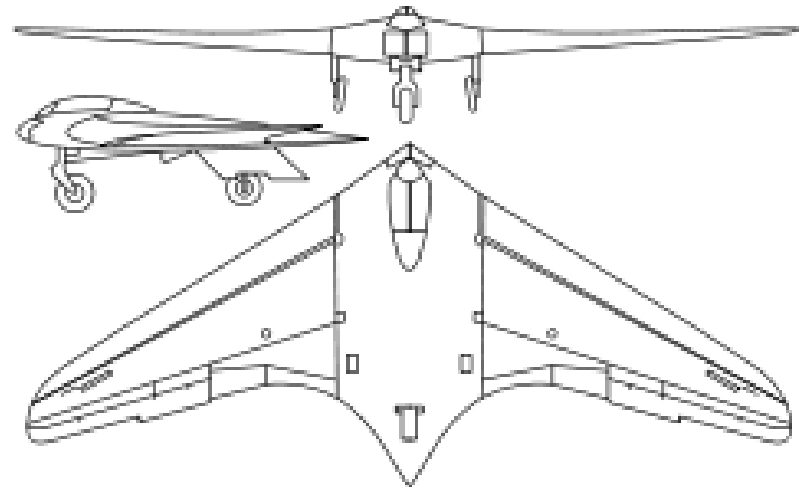
- ❑ Apertura alare: 10,7 *m*
- ❑ Superficie alare: 42,7 *m*²
- ❑ Lunghezza: 15,60 *m*
- ❑ Altezza: 4,33 *m*
- ❑ Peso a vuoto: 13000 *kg*
- ❑ Peso max al decollo: 31800 *kg*
- ❑ Impianto propulsivo: 1 turbofan
F135-PW-100 con ab
- ❑ Spinta: 191 *kN* (max , con ab)
- ❑ Velocità massima: 1975 *km/h* (Mach 1,6)
- ❑ Raggio di azione: 1080 *km*
- ❑ Tangenza: 18288 *m*
- ❑ Combustibile 8382 *kg*
- ❑ Autonomia: 2220 *km*

La tecnologia *stealth*

- ❑ La tecnologia *stealth* : complessa filosofia di progetto rivolta a ridurre la capacità di sensori predisposti per rilevare, inseguire, eventualmente attaccare un mezzo in movimento. L'invisibilità di un aereo alle difese nemiche non può essere limitata alla segnatura radar, ma include anche la segnatura termica (scarichi dei motori) le emissioni elettroniche (provenienti dal radar di bordo ecc.), la visibilità ottica del velivolo
- ❑ La tecnologia *stealth* include pertanto una serie di tecniche che rendono un aeroplano, un elicottero, un missile, un satellite, una nave, un sottomarino invisibile (idealmente) al radar, all'infrarosso, al sonar o ad altri dispositivi di localizzazione. Si tratta dunque di una tecnica di mimetizzazione per alcune parti dello spettro elettromagnetico che nascondono la presenza di un oggetto
- ❑ La segnatura radar è data da molteplici fattori tra i quali risultano fondamentali il coefficiente di riflessione e la distanza dal radar
 - *Coefficiente di riflessione*: misurato in termini di sezione radar equivalente (RCS, *Radar Cross Section*)
 - *Distanza dal radar*: il solo intervento possibile è in fase di pianificazione della missione, note le varie sorgenti radar nemiche
- ❑ Per ridurre la segnatura radar si ricorre all'utilizzo di:
 - criteri di progettazione aerodinamica, attraverso configurazioni che già in fase di progetto danno una traccia radar molto ridotta. Queste configurazioni "strutturali" risultano indispensabili
 - speciali vernici radar-assorbenti con buoni risultati ma insufficienti per risolvere il problema dell'invisibilità (sono di costo elevato e si deteriorano facilmente, determinando il decadimento dell'invisibilità)
 - materiali particolari, quali il Kevlar
 - altri provvedimenti quali la schermatura delle prese d'aria (devono essere molto ridotte) e la rinuncia a carichi bellici esterni (requisito fondamentale), installati solo dentro apposite stive
 - soluzioni alternative, tra le quali la generazione di una nube di plasma sulla superficie dell'aereo, in grado di mantenerlo invisibile alla rilevazione radar (tecnologia russa)

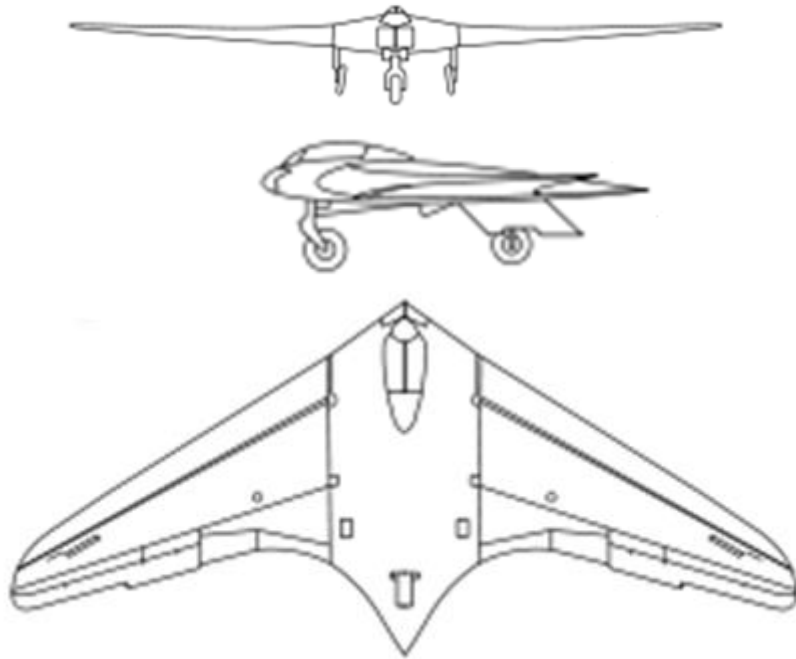
La tecnologia *stealth*: breve excursus storico

- ❑ Hermann Göring nel 1943 promuove la *richiesta 1000/1000/1000* per produrre un bombardiere in grado di trasportare un carico di 1000 kg a una distanza di 1000 km e a una velocità di 1000 km/h, alla luce delle disastrose perdite dei bombardieri tedeschi provocate dai caccia alleati
- ❑ Il nuovissimo motore a reazione Junkers Jumo 004 consente il raggiungimento della specifica in termini di velocità
- ❑ Viene così progettato l'Horten 229 V3. Realizzato con materiali non strategici (legno e compensato) impiega per la ricopertura una speciale vernice in grado di assorbire le onde radio. Unitamente alla geometria, questa riduceva l'individuabilità da parte dei sistemi di avvistamento radar dell'epoca
- ❑ Durante gli ultimi atti della guerra, l'esercito statunitense dà il via all'operazione *Paperclip* per impossessarsi delle ricerche tedesche su armi avanzate ed impedire che cadessero in mano alle truppe sovietiche
- ❑ Le forze USA recuperano così un veleggiatore Horten e l'Ho 229 V3, quasi completamente assemblato, e li consegnano alla Northrop Corporation
- ❑ Il velivolo Ho 229 V3 anticipa molte soluzioni adottate per il bombardiere stealth Northrop Grumman B-2 Spirit



Ho 229 V3 [1945] e B-2 Spirit [1989] a confronto

Horten 229 V3

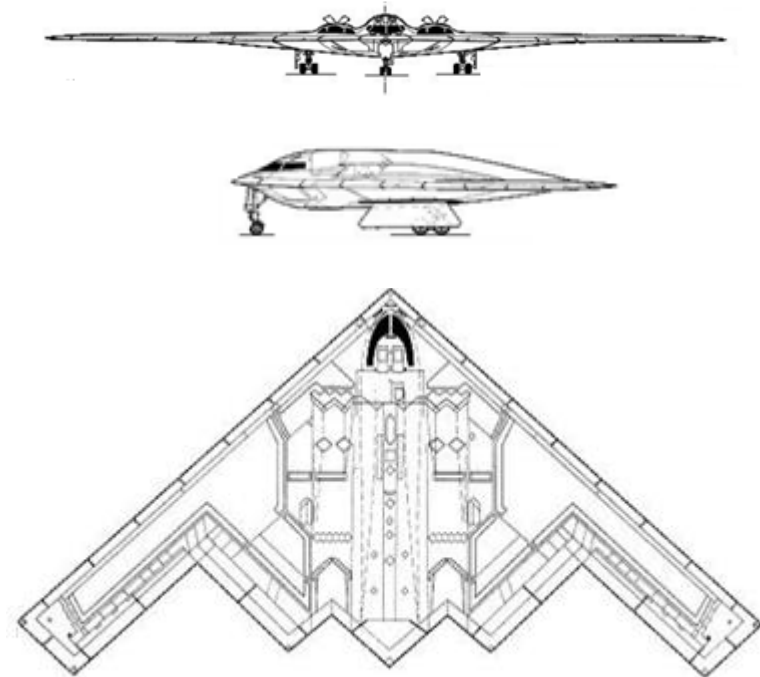


Lunghezza: 7.47 m
Altezza: 2.81 m
Apertura alare: 16.78 m
Superficie alare: 52.50 m²

Sistema propulsivo:

2 turbogetti Junkers Jumo 004B
Spinta: 6,67 kN ciascuno

Northrop Grumman B-2 Spirit



Lunghezza: 20,9 m
Altezza: 5,18 m
Apertura alare: 52.12 m
Superficie alare: 478 m²

Sistema propulsivo:

4 turbofan General Electric F-118-GE-100
Spinta: 77 kN ciascuno

La tecnologia *stealth*: realizzazioni

L'**invisibilità radar** viene raggiunta tramite interventi strutturali con l'utilizzo di particolari geometrie (sistematico utilizzo di angoli a 120° , evitando angoli di 90° e geometrie arrotondate che sono riflettenti)

Lockeed I'F-117 Nighthawk, aereo da attacco al suolo (primo volo 1981)



Oppure attraverso l'**eliminazione degli impennaggi di coda**:

Northrop Grumman B-2 Spirit, bombardiere strategico (primo volo 1989)



La tecnologia *stealth*: realizzazioni



Oppure con **particolari vernici** in grado di assorbire le onde elettromagnetiche, sia radio che luminose (proprietà della vernice di assorbire la luce di un laser).

SR-71 (primo volo 1964)



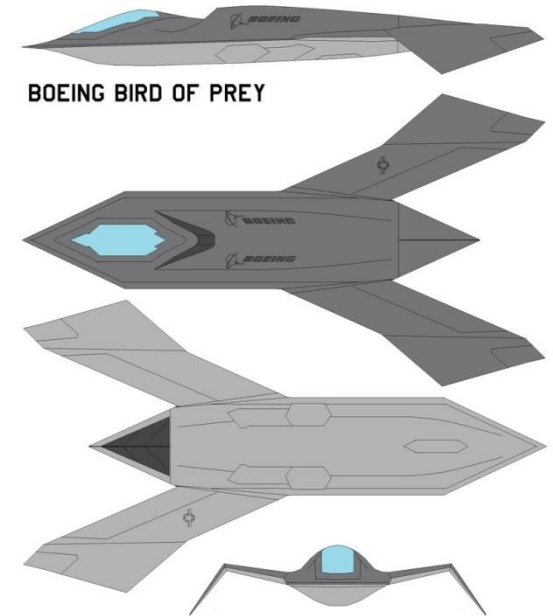
L'**invisibilità sonica** e la minore visibilità all'infrarosso si avvale di motori con tecnologie più silenziose con tecniche di refrigerazione del flusso allo scarico (si evitano i post-bruciatori, si utilizza la propulsione supercruise)

Lockheed Martin Boeing F-22 Raptor, caccia multiruolo di V generazione da supremazia aerea, attacco al suolo, guerra elettronica (primo volo 1997)

La tecnologia *stealth*: realizzazioni

L'**invisibilità al visibile** (oltre al radar) è più complicata, ed è studiata in velivoli sperimentali con proiettori di luce e telecamere che permettono all'aereo di non essere rilevato anche di giorno

Boeing Bird of Prey (primo volo 1996)



I problemi degli aerei *stealth*

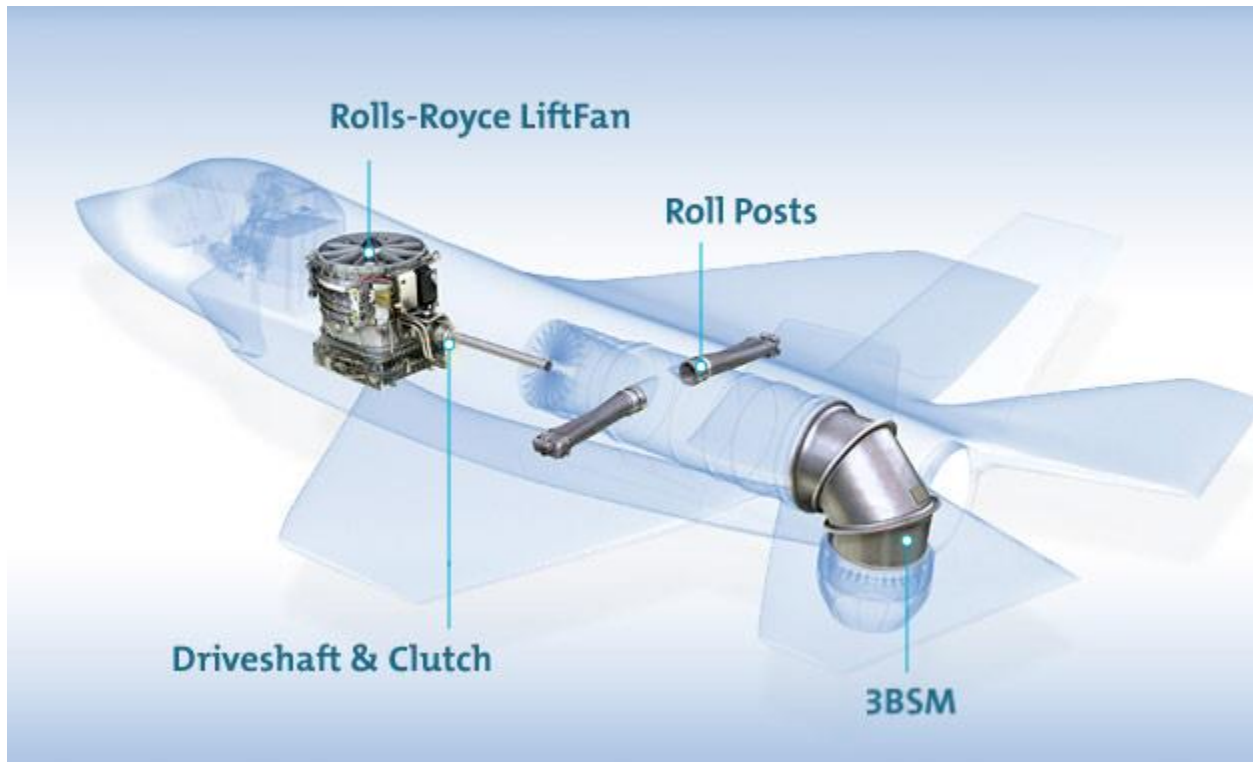
- ❑ **Costo:** il B-2, l'aereo dove sono meglio riunite tutte le tecnologie *stealth*, aveva un costo unitario, al cambio attuale, di circa 1,2 miliardi di dollari, costo che ne ha limitato la produzione a soli 21 esemplari, inclusi i prototipi. Costi molto alti anche di manutenzione (ripristino della vernice per mantenere l'effettivo stato di invisibilità e periodici controlli per schermi, ugelli di scarico ...)
- ❑ **Reale efficacia delle tecnologie *stealth*:** non totale invisibilità ai radar. Tutti gli aerei possono essere individuati mediante appositi accorgimenti; sono state sviluppate tecniche che permettono di individuare la turbolenza prodotta dall'aereo, mentre è noto che un radar sperimentale francese (in grado di oltrepassare il limite dell'orizzonte grazie alla riflessione delle onde sulla ionosfera) è riuscito a seguire i viaggi dei B-2 dagli Stati Uniti verso il Kosovo, durante l'operazione Allied Force
- ❑ Sono inoltre stati messi a punto **speciali algoritmi** che seguendo la traiettoria di caduta di una bomba consentono di risalire alla traiettoria dell'aereo che l'ha sganciata. È ben nota la vulnerabilità dell'F-117, quando l'aereo apre la stiva per lasciar cadere le bombe: i portelli aperti hanno una RCS (Radar Cross Section) piuttosto significativa, e la traiettoria del velivolo può essere determinata con tali algoritmi

I limiti degli aerei *stealth*

- ❑ In realtà nessun velivolo è totalmente invisibile al radar, gli aeromobili *stealth* sono rilevabili dai radar convenzionali a distanze minori rispetto a quelli normali, rendendo il rilevamento meno tempestivo ed impedendo un'adeguata risposta, che inoltre diventa inefficace perché è difficile fare il "tracking" (inseguimento del bersaglio), ed i radar dei missili anti-aerei hanno grossi problemi nell'agganciare il bersaglio, rimanendo facilmente confusi da *chaff*, *flare* e dalle *decoy* (civette elettroniche). Si calcola che rispetto ad un aereo normale, uno *stealth* abbia soltanto un 15% di possibilità di essere attaccato, e che la possibilità di abbattimento sia minore

- ❑ E' noto, dall'epoca della guerra in Bosnia (1995-99) si sa che i velivoli *stealth* sono rilevabili anche a grandi distanze, tramite l'utilizzo di radar trans-orizzontali (come lo HAARP e il radar *Nostradamus* dell'ONERA (*Office national d'études et de recherches aérospatiales*) che utilizzano onde corte ad ampiezza modulata (invece di onde millimetriche e micrometriche dei radar convenzionali). I velivoli *stealth* sono rilevabili a distanze dell'ordine di migliaia di chilometri grazie alla riflessione dell'onda sulla ionosfera, anche se esiste un problema di bassa risoluzione che non permette di determinare il numero e il tipo di velivoli. Questa specie di gigantesca antenna non è miniaturizzabile e tanto meno installabile sui missili, e dunque i velivoli *stealth* conservano un vantaggio rispetto a quelli convenzionali nel combattimento con missili a guida radar

Configurazione impiantistica del sistema propulsivo F-35B V/STOL



- ❑ La ventola di sollevamento, ha un diametro di 1.25 m ed è costituita da due ventole contro-rotanti, in grado di generare più di 20000 libbre di spinta. E' alimentata da una turbina a gas tradizionale
- ❑ L'ugello di scarico è costituito da un ugello che può ruotare, in grado di direzionare la spinta del motore principale verso il basso per fornire la spinta verticale posteriore
- ❑ Il condotto può ruotare di 95 ° in 2.5 secondi e fornisce 18.000 libbre di spinta
- ❑ Il controllo di rollio e della stabilità laterale del velivolo è realizzato mediante due getti, montati nelle ali del velivolo, che forniscono ulteriori 1950 libbre di spinta

Architettura generale del motore F135-PW-100

F135

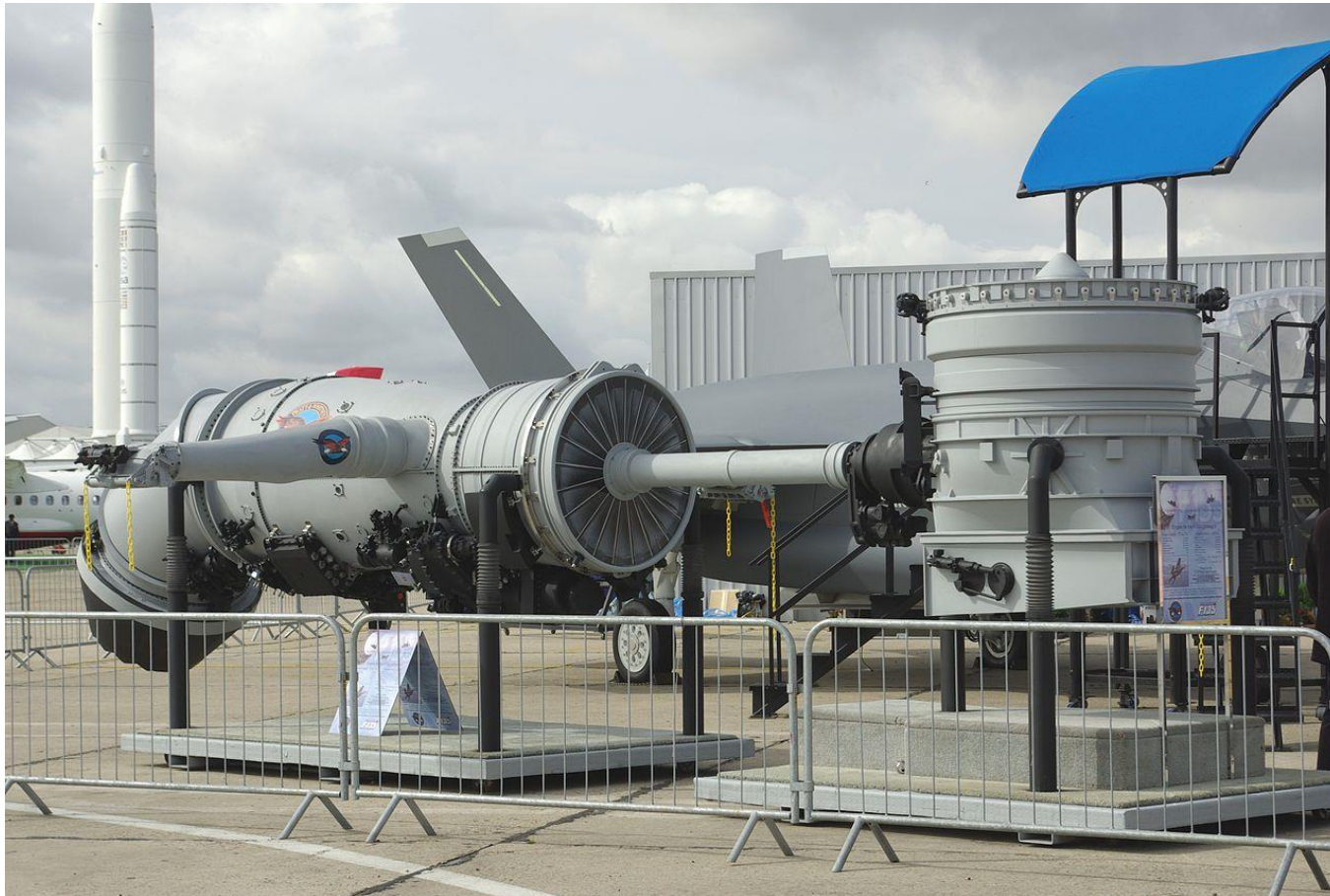
Power for F-35B Short Takeoff and Vertical Landing (STOVL)

Dependable Fifth-Generation Power from Land or Sea



- ❑ Engine Characteristics Maximum thrust class (182.4 kN) Intermediate thrust class (120.1 kN) Short takeoff thrust class (181.2 kN) Hover thrust class (180.8 kN) Main engine (83.1 kN) Lift fan (83.1 kN)
- ❑ Roll post (14.6 kN) Length (9.37 m) Main engine: Inlet diameter (1.09 m) Max diameter (1.17 m) Lift fan: Inlet diameter (1.30 m) Max diameter (1.34 m)
- ❑ Features • Single-engine reliability and affordability derived from proven fifth-generation fighter technologies, design, production and sustainment. • Advanced health monitoring and network logistics support designed to reduce sustainment costs, increase mission readiness and enable weapon system availability. • World's most powerful fighter engine enables unequalled stealth combat capabilities and effectiveness. • LiftSystem is comprised of the Rolls-Royce LiftFan®, Driveshaft, 3 Bearing and Roll Posts. • Bleed air provides thrust-to-roll post actuators for roll control

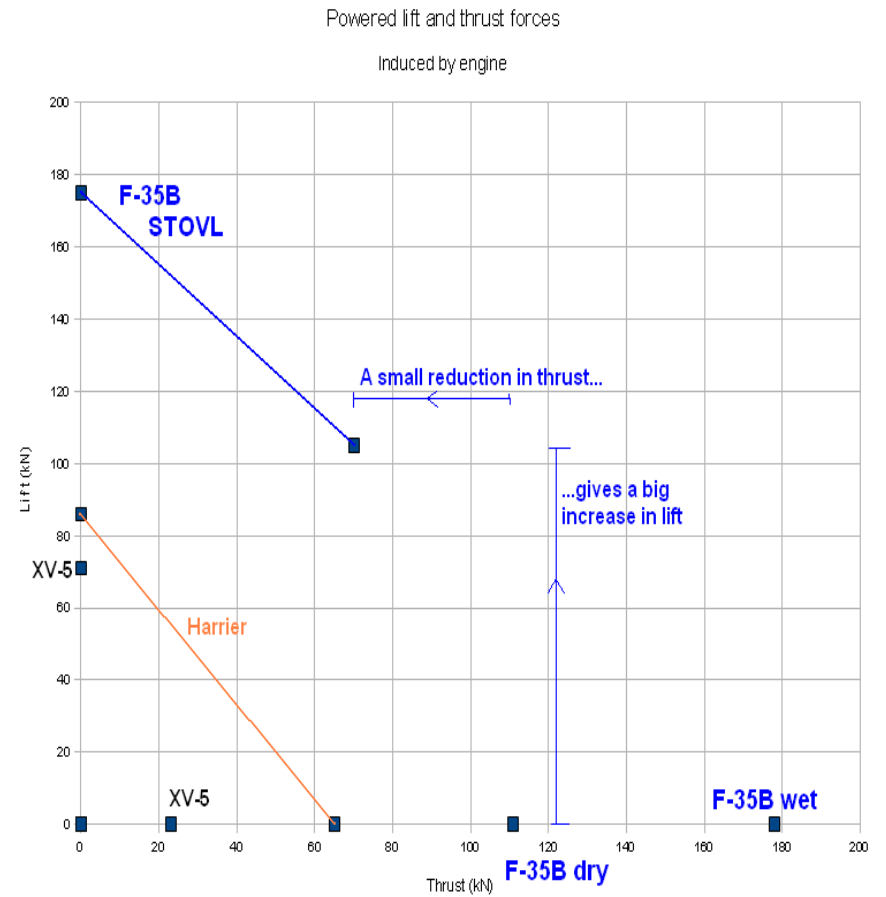
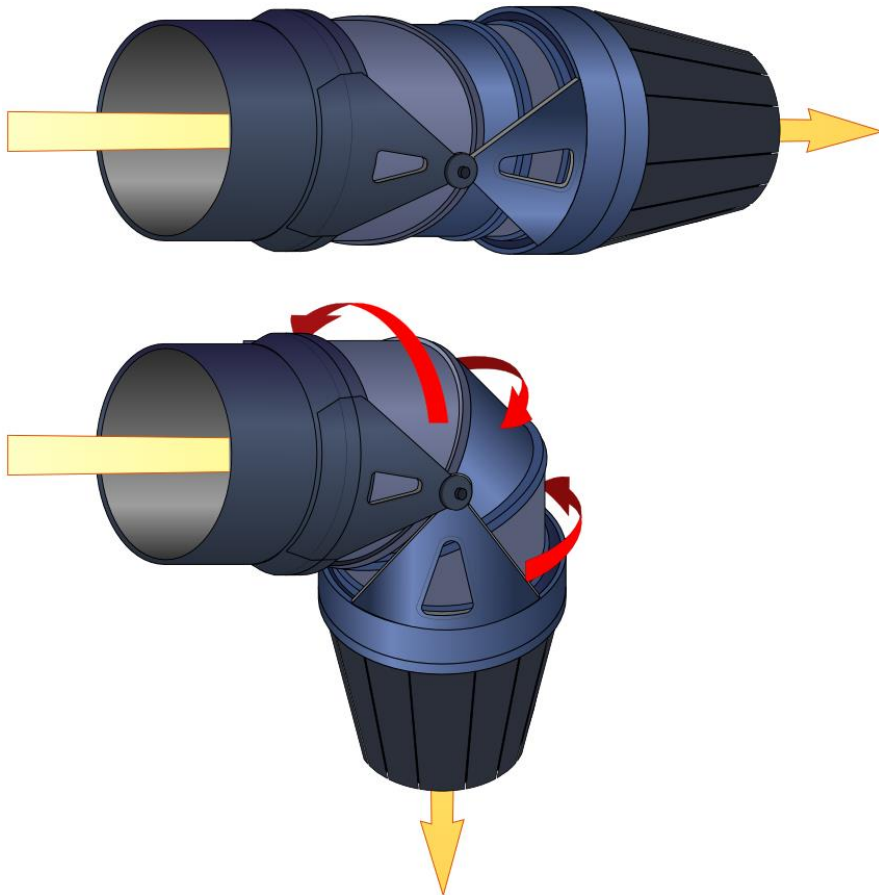
Il motore F135-PW-100



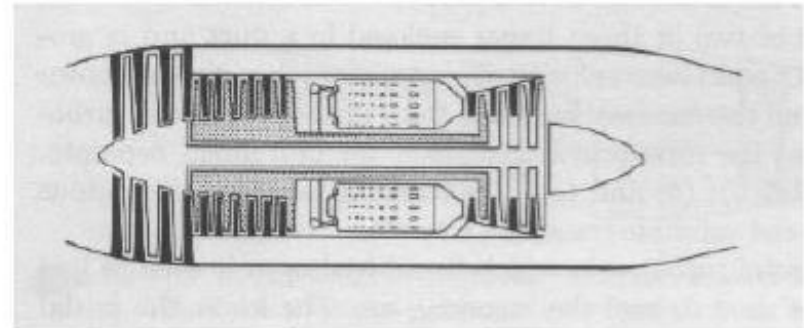
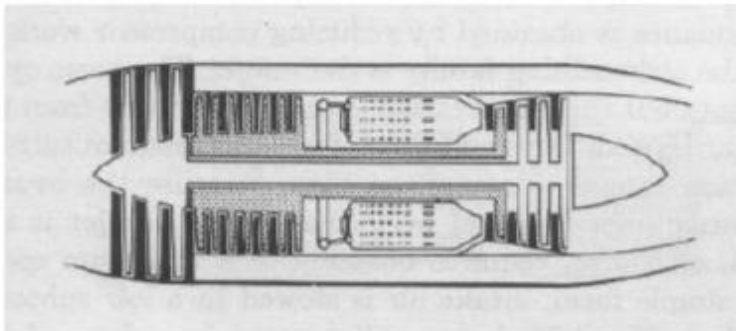
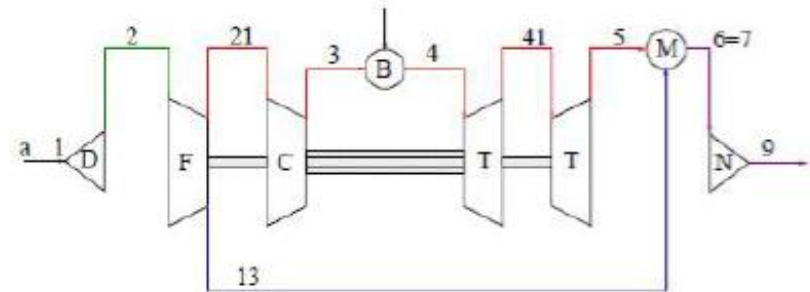
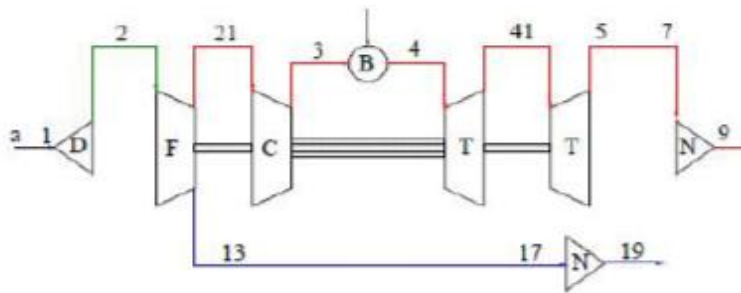
Il motore F135-PW-600 con il fan per il decollo verticale, i getti per il controllo della stabilità laterale, l'ugello di scarico verticale, progettato per la variante F-35B V/STOL
(Paris Air Show, 2007)

Particolari del motore F135-PW-100

Ugello di scarico e dati caratteristici



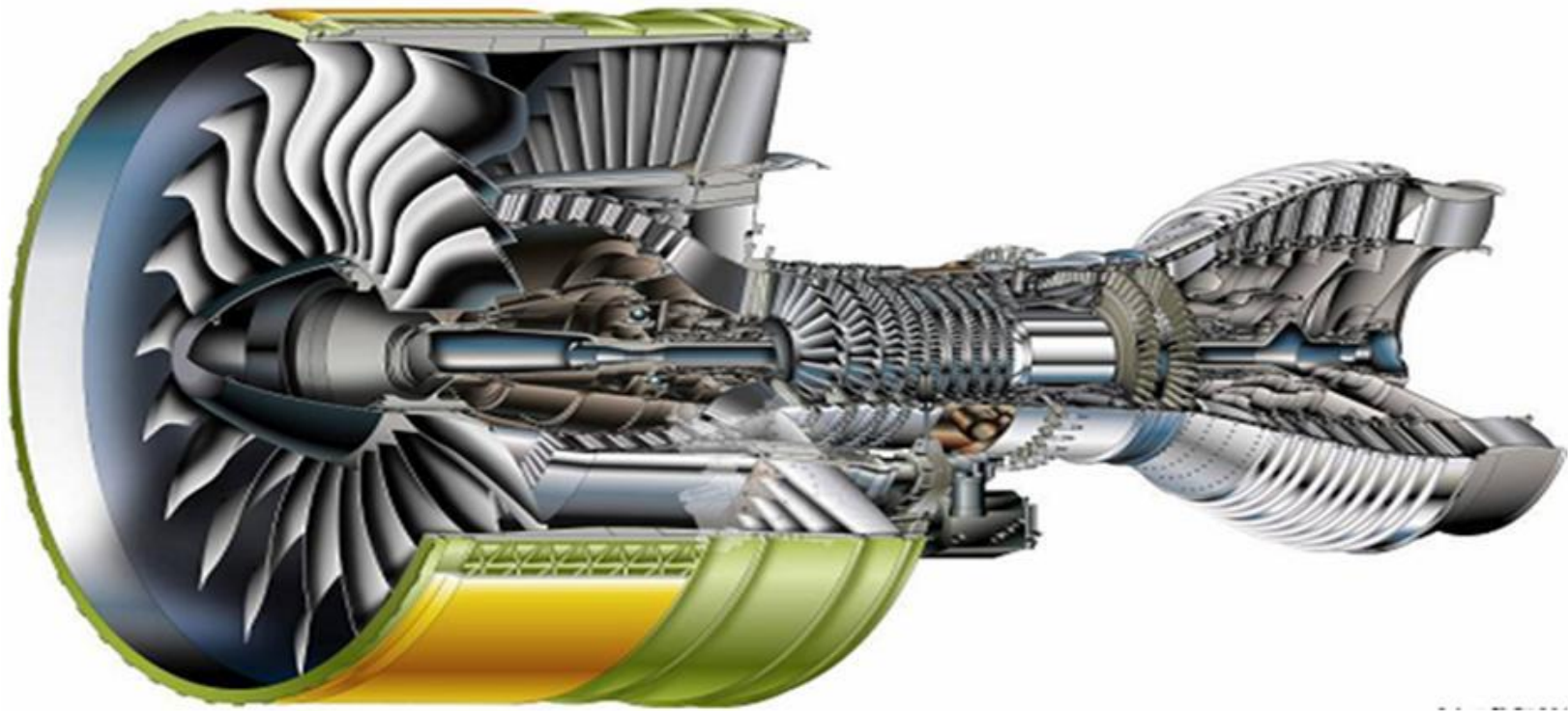
Turbofan a flussi separati e a flussi associati



Schema di turbofan a flussi separati

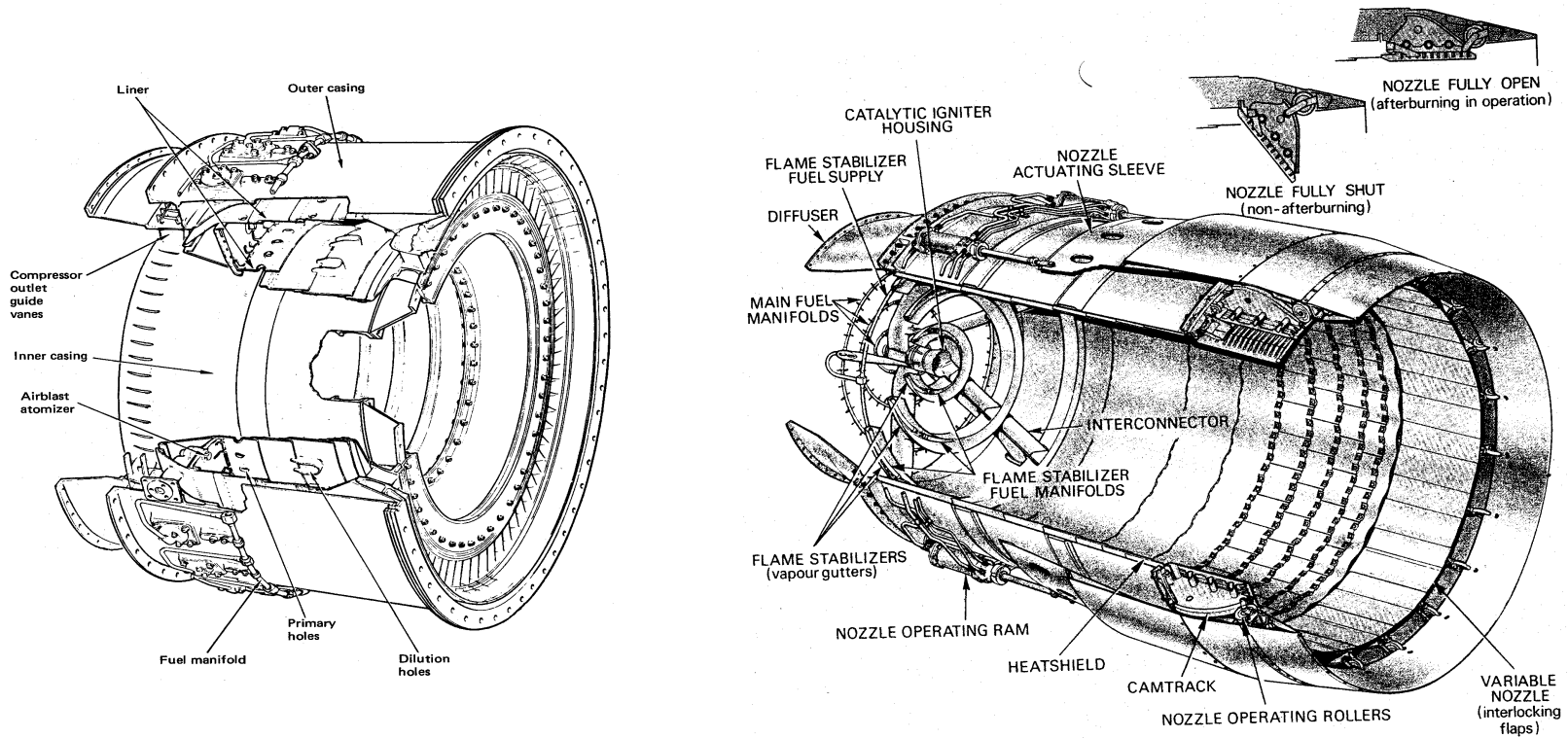
Schema di turbofan a flussi associati

Turbofan a flussi separati



Schema di turbofan a flussi separati per applicazioni civili
ad alto rapporto di diluizione

Camera di combustione (anulare) e post-combustore



Specifiche del motore F135-PW-100

Caratteristiche generali

tipologia:	turbofan con post-combustore
lunghezza:	5.59 m
diametro:	1.17 m max., 1.09 m all'ingresso del fan
peso a secco:	1701 kg

Componenti

compressore:	fan a tre stadi, compressore di alta pressione a 6 stadi
combustore:	di tipo anulare
turbine:	turbina di alta pressione a 1 stadio, turbina di bassa pressione a 1 stadio

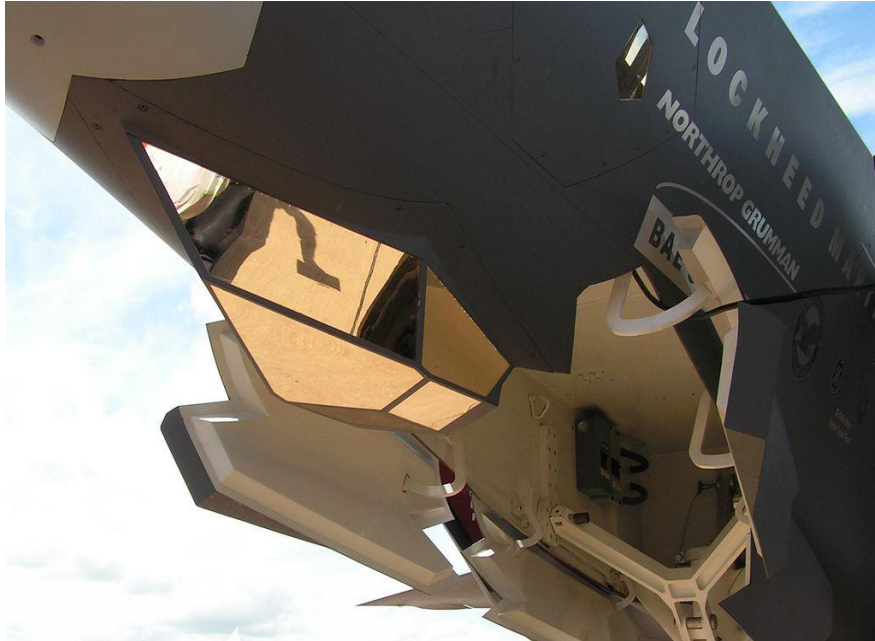
Prestazioni

spinta massima:	190 kN max, 125 kN intermedia
rapporto di compressione globale:	28:1
rapporto spinta-peso:	7.47:1 (dry), 11.5:1 (wet/post-combustione)

Assetto dell'F-35B V/STOL In configurazione di atterraggio verticale



Particolari dell'F-35



Sistema Integrato di Puntamento Elettro-
Ottico (EOTS) sotto il muso dell'aereo
(Da Wikipedia)



Stiva delle armi nell'F-35
(Da Wikipedia)