

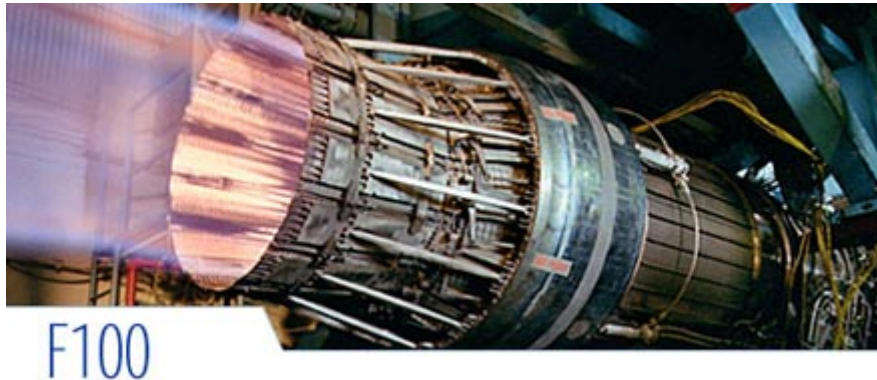
DOCUMENTO TRATTO DA



WWW.AEREIMILITARI.ORG

F100-PW-100/229

I motori dell' F-15 Eagle e dell' F-16 Fighting Falcon



INTRODUZIONE

La prima versione della serie di F100, prodotti dalla Pratt & Whitney, per i velivoli da caccia *F-16 Fighting Falcon* ed *F-15 Eagle*, fu il modello **F100-PW-100**.

Il PW-100 è un turbofan a flusso assiale con postbruciatore e rapporto di by-pass di 0,7; presenta due alberi, uno collega la ventola a tre stadi azionata da una turbina bi-stadio, l' altro albero collega i dieci stadi del compressore principale alla sua turbina, anch' essa bi-stadio.

STORIA

Il progetto del motore risale all' agosto 1968 quando l' USAF affidò alla *Pratt & Whitney* lo sviluppo, e in seguito la fornitura, di un motore innovativo da installare sul caccia di ultima generazione F-15 Eagle.

Si trattava di un progetto ambizioso, in quanto l' F-15 era destinato a diventare il miglior caccia da superiorità aerea del mondo a disposizione dell' occidente.

Nel 1970 il progetto F100-PW-100 fu definitivamente adottato dall' USAF, la quale è tutt' ora il principale cliente della generazione F100.

L' obiettivo dell' USAF di realizzare un velivolo talmente avanzato in termini di prestazioni, da renderlo nettamente superiore ai caccia che l' Unione Sovietica poteva disporre a quel tempo, e per i prossimi quarant' anni, fu raggiunto con successo!



Un obiettivo del genere presupponeva un motore altrettanto avanzato, innovativo e dalle prestazioni superbe.

Un propulsore tale da imprimere eccezionali accelerazioni, anche in assetto verticale, il più elevato rateo di salita, velocità massima oltre i Mach 2,5 ed una buona capacità di manovra. Grazie a questo motore l' F-15A poté battere gli otto record mondiali in velocità di salita, detenuti dall' *F-4 Phantom II* e dal *MiG-25 Foxbat*.

Quota [m]	Tempo [sec]	Data	Pilota
30.000	207,80	01/02/1975	Maj. R. Smith
25.000	161,02	26/01/1975	Maj. D. W. Peterson
20.000	122,94	19/01/1975	Maj. R. Smith
15.000	77,02	16/01/1975	Maj. D. W. Peterson
12.000	59,38	16/01/1975	Maj. W. R. Macfarlane
9.000	48,86	16/01/1975	Maj. W. R. Macfarlane
6.000	39,33	16/01/1975	Maj. W. R. Macfarlane
3.000	27,57	16/01/1975	Maj. R. Smith

Molti di questi record verranno in seguito battuti dal P-42, prototipo del supercaccia-intercettatore sovietico *Sukhoi Su-27 Flanker*.

L' F100 A BORDO DELL' F-15 EAGLE



L' F100 ebbe inizialmente, durante i primi voli con l' F-15, alcuni problemi di affidabilità e consumo; tra l' altro prevedibili se non addirittura scontati se consideriamo la complessità e l' avanzato grado tecnologico preteso sia dal nuovo aereo che dal motore.

I problemi principali erano l' elevato consumo di combustibile, specialmente a regime di post-combustione, che ne riduceva l' autonomia operativa, lo stallo del compressore e le difficili accensioni del postbruciatore.

Problemi poi amplificati dall' eccessivo utilizzo dell' aereo da parte dell' USAF in manovre di collaudo stressanti che richiedevano frequenti variazioni nel settaggio della manetta con violente aperture di gas.

In tali condizioni molte parti vitali del motore raggiungevano i propri limiti critici, come l' avaria della palettatura del primo stadio della turbina.

Molti di questi problemi furono ovviamente presto risolti; probabilmente grazie ad una più intensa attività di manutenzione ed un più attento controllo di qualità durante la produzione delle singole componenti del motore.

Comunque, il problema principale era rappresentato dal cosiddetto "*stagnation stalling*".

Questo fenomeno affligge le palettature del compressore le quali arrivano allo stallo, ovvero diventano aerodinamicamente inefficienti, se l' angolo con cui il flusso d' aria le colpisce, raggiunge il valore critico interrompendo così la mandata d' aria alla camera di combustione, la quale continua ad accumulare combustibile creando il rischio di un' esplosione.

Questo genere di avaria si verifica principalmente per due motivi: durante le manovre ad elevati angoli di incidenza, procurando improvvise interruzioni del flusso d' aria nel compressore e per effetto della difficile accensione del post-bruciatore.

Per quanto riguarda la prima causa, l' interruzione del flusso d' aria può indurre il motore a perdere velocità e le turbine a surriscaldarsi.

Questa condizione, se non rapidamente corretta, può causare il danneggiamento permanente

della turbina o dar luogo ad un incendio del motore.

Questo è particolarmente pericoloso nei caccia bimotori, come l' F-15, dove è necessario tenere sotto continuo controllo entrambi i motori.

Per facilitare il pilota in questo compito, fu installato all' interno del cockpit un sistema d' allarme acustico collegato ad una sonda che rileva in tempo reale la temperatura della turbina.

Per quanto riguarda invece la seconda causa, ovvero gli stalli indotti dalle difficili accensioni del postbruciatore, i rischi riguardavano la possibilità di dar luogo a una sorta di mini-esplosione all' interno del motore nel momento in cui veniva attivato il post-bruciatore.

Le difficili accensioni del post-bruciatore erano dovute probabilmente o dalla mancata accensione dello stesso per avaria o dal suo spegnimento immediato dopo l' accensione. In entrambi i casi l' elevato accumulo di carburante incombusto vaporizzato dall' iniettore nel postbruciatore, tendeva ad esplodere per effetto dei gas caldi provenienti dalla camera di combustione.

L' onda di pressione così creata si propagava attraverso il compressore, fino alla ventola, causandone lo stallo.

Questo tipo di avaria solitamente si verificava a quote elevate e a velocità supersoniche intorno ai Mach 2.

Chiaramente, questo genere di avarie al motore avrebbero reso estremamente vulnerabili gli aerei in combattimento: se accadesse durante un combattimento, il pilota si troverebbe in una condizione di inferiorità tale da potersi considerare spacciato!

Il problema degli stalli alla palettatura del compressore fu comunque risolto, ma per contro, implicò un notevole ritardo nella consegna dei motori da parte della Pratt & Whitney. Dal 1979 l' USAF fu costretta ad accettare solo cellule dell' F-15 e ad accantonarli fino alla consegna di un numero sufficiente di propulsori.

Per ovviare a questo inconveniente la Pratt & Whitney dovette affrontare uno notevole sforzo produttivo, ma nonostante ciò molti F-15 dovettero attendere ancora molto tempo prima di poter usufruire dei motori F100.

Alcune modifiche al sistema di controllo del combustibile permisero di abbassare la frequenza degli stalli.

Nel 1976 gli F-15 ebbero mediamente 11-12 stagnation stalls ogni 1.000 ore di volo.

Dal 1981 questo valore si ridusse a 1,5!

L' F100 A BORDO DELL' F-16 FIGHTING FALCON



Quando compì il suo primo volo, l' YF-16 apparve immune da problemi di stagnation stalls, che invece afflissero per lungo tempo l' F-15.

Comunque, mentre volava con un primo modello del motore F100, anche uno degli YF-16 riscontrò uno stagnation stall, sebbene si verificò in condizioni limite, oltre le normali prestazioni del velivolo.

In seguito accaddero altri tre incidenti di questo tipo, tutti dovuti a manovre ad elevati angoli d' attacco effettuate ad alta quota e a bassa velocità.

Sull' F-16, il primo stallo di questo genere si verificò su un modello belga il quale fu spinto al limite delle sue prestazioni.

Fortunatamente il pilota fu in grado di riaccendere i motori e di atterrare in sicurezza. Grazie al motorino di avviamento per l' iniezione, di cui l' F-16 era dotato, e da un' altezza di 35.000 piedi, il pilota avrebbe avuto abbastanza tempo per effettuare tre accensioni del motore.

Quando venne progettato il sistema di controllo del motore F100, gli ingegneri della Pratt & Whitney trascurarono l' eventualità di stalli nel motore provocati dall' ingestione di fumo lasciato dai missili dal momento del loro lancio.

Per evitare questo inconveniente fu introdotto nel sistema di controllo l' impianto "rocket-fire".

Una volta lanciato il missile, viene inviato un segnale elettronico al sistema di controllo del combustibile, il quale fornisce un maggior apporto di propellente alla camera di combustione e all' afterburner del motore. Questo segnale comanda inoltre l' angolo della palettatura dello statore a geometria variabile del compressore, per evitarne lo stallo.

I test mostrarono che l' impianto "rocket-fire" non era poi così necessario a tal fine, ma piuttosto, risultò utile per evitare gli stagnation stalls.

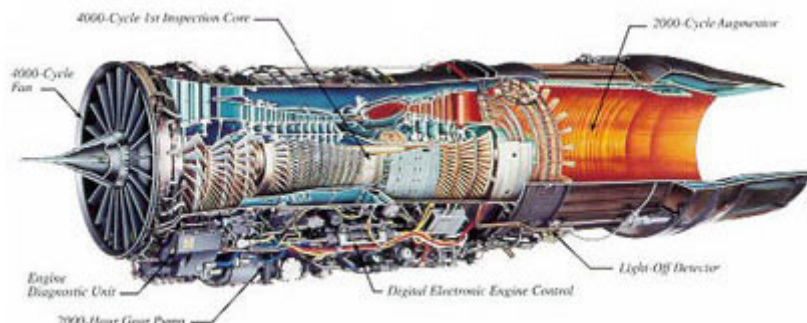
La velocità di rotazione dell' albero motore, la temperatura della turbina e l' angolo delle palette dello statore del compressore sono continuamente monitorate dall' unità di controllo elettronica del motore la quale garantisce prestazioni ottimali durante tutte le fasi del volo.

Dal controllo della velocità del flusso e della temperatura dell' aria fornita dalla ventola, l' unità è in grado di percepire l' incombere dello stallo, di conseguenza invia un segnale di "rocket-fire" fittizio (in quanto in realtà non si verifica un' ingestione di fumo) al sistema di controllo del combustibile che attua le misure di anti-stall precedentemente descritte.

Allo stesso tempo, il sistema di controllo del carburante riduce l' afterburner setting per agevolare la riduzione della pressione all' interno dell' iniettore.

I motori utilizzati sugli F-16 ebbero soltanto in media 0,15 stagnation stalls ogni 1.000 ore di volo; molto meglio dell' F-15.

F100-PW-220 TURBOFAN ENGINE



I due alberi principali del motore collegano rispettivamente il ventilatore a tre stadi a bassa pressione con la turbina bi-stadio posta a valle della camera di combustione, il compressore a 10 stadi di alta pressione azionato da una turbina bi-stadio di alta pressione.

Il ventilatore a tre stadi a bassa pressione è azionato dalla turbina bi-stadio di bassa, il ventilatore poi by-passa il flusso d'aria al condotto esterno e al compressore a 10 stadi che è azionato da una turbina bi-stadio ad alta pressione.

La spinta normale all' asciutto di 12.420 libbre (5.633 kg), aumenta in regime military fino a 14.670 libbre (6.660 kg). La spinta massima ottenibile mediante il processo di post-combustione è pari a 23.830 libbre (10.810 kg)!

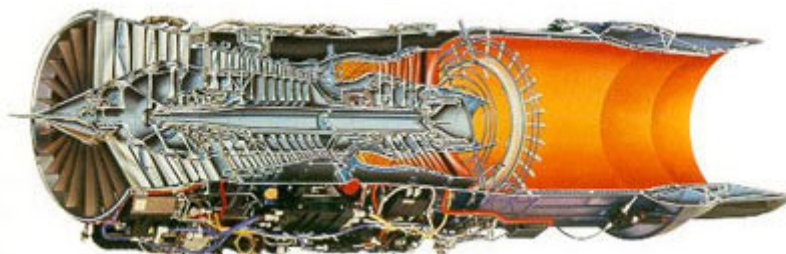
Questo motore è utilizzato in coppia sul velivolo F-15 e singolarmente sull' F-16.

Per quanto riguarda l' alimentazione, i motori ricevono l' aria esterna tramite due prese d'aria laterali a sezione rettangolare variabile, nell' F-15, e da una presa d'aria ventrale, nell' F-16. In entrambi i velivoli la particolare geometria delle prese d'aria garantisce un ottimo apporto d'aria anche durante le manovre più critiche ad elevati angoli di incidenza e un buon isolamento dal bang sonico.



Gli ugelli di scarico sono a sezione variabile per garantire una spinta ottimale ad ogni posizione della manetta. La dilatazione massima avviene al 100% di manetta a cui corrisponde il massimo valore di spinta in post combustione.

F100-PW-229 TURBOFAN ENGINE



Ad oggi sono 21 le nazioni che affidano la propria difesa aerea ai velivoli da caccia F-15 Eagle e F-16 Fighting Falcon, le cui eccellenti prestazioni sono rese possibili dal motore F100 sviluppato e prodotto dalla Pratt & Whitney in molte versioni, delle quali il modello **F100-PW-229** ne rappresenta la massima espressione; non solo in fatto di prestazioni ma anche e soprattutto in economicità e manutentabilità.

Con oltre 6.900 motori prodotti e oltre 16 milioni di ore di volo, l' F100 può considerarsi, nonostante i grossi difetti del passato, tra i motori da caccia più sicuri ed affidabili al mondo.

Impiegando le medesime tecnologie avanzate introdotte nello sviluppo dei motori di ultima generazione F135 e F119, di cui sono dotati rispettivamente gli aerei da caccia F-35 JSF e il supercaccia F-22 Raptor, l' attuale produzione PW-229 include materiali innovativi nella realizzazione delle turbine e del compressore, controlli elettronici e tecniche per la gestione del sistema di raffreddamento.

Il 229 adotta un nuovo bruciatore, una nuova turbina ad elevate temperature, un ventilatore

con un maggior rapporto di compressione (3,8 al livello del mare) per fornire una maggior portata d' aria ed un minor consumo.

Il compressore dispone di uno stadio aggiuntivo, per un rapporto di compressione totale pari a 8,6 che produce un maggior afflusso d' aria alla nuova camera di combustione ridisegnata. Il PW-229 produce il 35% di spinta intermedia e il 25% di spinta massima in più rispetto alla versione F100-PW-200.

La consegna dei motori PW-229 per gli F-16 fu nel 1992.

Il primo test in volo del motore avvenne dalla base aerea di Edwards a metà del 1990.

Questo motore è in grado di erogare un spinta massima di ben 29.160 libbre, pari a 13.220 kg!!!

F100-PW	220	229
Applicazione	F-16 Fighting Falcon ed F-15 Eagle	
Spinta massima	10.810 kg	13.220 kg
Spinta a regime military	6.660 kg	8.140 kg
Ventola	3 stadi	
Compressore	di alta pressione a 10 stadi	
Turbina	una bi-stadio di alta pressione e una bi-stadio a bassa pressione	
Temperatura max alla turbina	1.400° C	1.482° C
Massa	1.470 kg	1.930 kg
Lunghezza	4,85 m	
Diametro della presa d'aria	0,88 m	
Diametro massimo	1,18 m	
Rapporto di by-pass	0,6	0,35
Rapporto di compressione	25/1	32/1
Anno di introduzione	1985	1991

*by phoenix
2006*