

Cattedra di studi strategici

B-2 Spirit

Supremazia tecnologica o illusione strategica?

Professore Andrea Gilli

RELATORE

Matr Pippo Junior Ballo 100812

CANDIDATO

Anno accademico 2025/2026

Capitolo1: Introduzione e disegno della ricerca	6
1.1 Contesto e rilevanza del tema	6
1.2 Problemi di ricerca e obiettivi	6
1.3 Domanda di ricerca.	7
1.4 Ipotesi di lavoro	7
1.5 Criteri/indicatori per valutare la “necessità” del B-2	8
1.6 Metodologia, fonti e limiti (OSINT vs classificato; triangolazione)	8
Capitolo 2: Quadro teorico e revisione della letteratura	10
2.1 Deterrenza, credibilità e signaling	10
2.2 gestione delle competenze e dell’escalation	10
2.3 Tecnologia e strategia: vantaggio, adattamento, overconfidence	11
2.4 A2/AD, security dilemma e spirale di contromisure	11
2.5 Economia politica della difesa: procurement, path dependency, small fleet problem.	12
2.6 Gap di ricerca e contributo della tesi	12
2.7 Framework analitico finale griglia multicriterio	13
Capitolo 3: Genesi del programma B-2: contesto storico-politico.	15
3.1 Guerra Fredda e trasformazione delle difese aeree (IADS)	15
3.2 Bombardieri strategici e triade nucleare: ruolo politico-operativo	15
3.3 Dallo sviluppo della tecnologia stealth al programma “Senior C.J.”	16
3.4 Northrop e governo USA: istituzioni, segretezza e governance del programma	17
3.5 Anni ottanta: riarmo, SDI e segretezza come scelta strategica	17
3.6 Dopo il 1991: fine della Guerra Fredda, multipolarità e adattamento del B-2	18
3.7 Controversie, costi e razionalità strategica: la genesi del dilemma	18
Capitolo 4: Il B-2 come sistema: architettura tecnico-operativa, costruzione e struttura	20
4.1 Dalla “stealth technology” alla <i>low observable architecture</i>	20
4.2 Riduzione della firma radar: logiche di dispersione e assorbimento	20
4.3 Materiali compositi e rivestimenti RAM: la “pelle” come capacità operativa	21
4.4 Aerodinamica dell’ala volante: vantaggi e trade-off di stabilità	21

4.5 Fly-by-wire e controlli: il software come parte della piattaforma	21
4.6 Propulsione integrata e riduzione della firma infrarossa/acustica	22
4.7 Navigazione, sensoristica e mission planning (elementi non-classificati)	22
4.8 Armamento e integrazione: stive interne, versatilità e vincoli LO	23
4.9 Costruzione e struttura del B-2	23
4.9.1 Architettura strutturale dell'ala volante e distribuzione dei carichi	23
4.9.2 Pannellatura, giunzioni e tolleranze: furtività nei dettagli	24
4.9.3 Integrazione di vani d'arma e impianti: vincoli progettuali e manutentivi	24
4.9.4 Produzione e assemblaggio: implicazioni industriali (open source).	24
4.9.5 Struttura e sostenibilità della tecnologia stealth: la manutenzione come estensione della produzione	25
Capitolo 5: Sostenibilità operativa: manutenzione, basing, prontezza	26
5.1 La sostenibilità operativa come “seconda metà” della supremazia tecnologica	26
5.2 Costi di ciclo di vita: dalla produzione alla disponibilità reale	26
5.3 Manutenzione della furtività: materiali RAM, precisione e controllo qualità	27
5.4 Generazione della missione: sistemi, equipaggio e vincoli operativi	27
5.5 Autonomia strategica e dipendenze nascoste: rifornimento, basi e vincoli logistici.	28
Capitolo 6: Economia politica del B-2: costi, industria e scala	29
6.1 Tipologie di costo: program cost, unit cost, O&S/life-cycle	29
6.2 Small fleet problem: costo unitario, resilienza e criticità di scala	29
6.3 Modernizzazione e upgrade: costi della credibilità nel tempo	30
6.4 Confronto costo-efficacia: penetrating strike vs standoff	30
6.5 <i>Procurement politics</i> e incentivi industriali: lock-in, segretezza e struttura degli interessi.	30
Capitolo 7: Dottrina e impiego operativo	32
7.1 Ruolo nella deterrenza nucleare e posture strategiche	32
7.2 Ruolo convenzionale: “first nights/first days” e strike in profondità	32
7.3 Impieghi operativi storici: pattern e lezioni (1999–2011)	33
7.4 Il B-2 come parte di un pacchetto complesso: ISR, tanker, EW e pianificazione	33

7.5 Valutazione operativa: effetti strategici, limiti e condizioni di successo	34
7.6 Alternative funzionali: standoff, triade, piattaforme distribuite e transizione verso B-21	34

Capitolo 8: Impatto geopolitico, contromisure ed escalation **36**

8.1 Deterrenza estesa, alleanze e assicurazioni	36
8.2 Adattamento avversario: IADS, ridondanza, inganno e dispersione	36
8.3 Stabilità strategica ed escalation: ambiguità, percezione errata e rischio crisi	37
8.4 Counter-stealth: evoluzione tecnologica e riduzione del vantaggio	37
8.5 Competizione tra grandi potenze e dinamiche di bilanciamento (Russia/Cina)	38
8.6 Transizione verso B-21: implicazioni strategiche e di policy	38

Capitolo 9: Caso studio contemporaneo **40**

9.1 Razionale e criteri di selezione del caso	40
9.2 Contesto: crisi regionale e obiettivi nucleari come “centri di gravità	40
9.3 Decisione politico-militare: obiettivo limitato e problema della legittimità	40
9.4 Concetto operativo: perché il B-2 era (quasi) insostituibile	41
9.5 Damage assessment: tra dichiarazioni politiche e incertezza verificabile	41
9.6 Reazione iraniana ed escalation controllata: la ritorsione su Al Udeid	42
9.7 Valutazione del caso: supremazia reale, risultati strategici non garantiti	42

Capitolo 10: Conclusioni, limiti e raccomandazioni: supremazia tecnologica, utilità strategica e sostenibilità politica **43**

10.1 Ritorno alla domanda di ricerca e sintesi dei risultati	43
10.2 Quando il B-2 è “necessario”: la funzione di <i>penetrating strike</i> ad alta credibilità	43
10.3 Quando il B-2 diventa “illusione strategica”: il divario tra effetto operativo ed esito politico	44
10.4 Legalità, responsabilità e <i>accountability</i> : lo stealth come stress test delle istituzioni.	44
10.5 Valutazione complessiva costi-benefici: perché la scala conta quanto la tecnologia.	45
10.6 Raccomandazioni di policy: come evitare l’illusione strategica	45
10.7 Risposta finale: supremazia tecnologica sì, necessità strategica solo a condizioni precise	45

Capitolo 11: Conclusioni e policy options **46**

11.1 Risposta alla domanda di ricerca secondo la griglia del Capitolo 2.	46
11.2 Bilancio finale: supremazia tecnologica o illusione strategica?	46
11.3 Implicazioni per deterrenza, dottrina e posture future	47
11.4 Opzioni di policy (2–3 scenari alternativi con pro/contro)	47
11.5 Limiti della ricerca e sviluppi futuri	48

Bibliografia e sitografia

- Fonti accademiche e monografie
- Fonti istituzionali (DoD/USAF/GAO/CRS ecc.)
- Fonti tecniche/industriali (solo verificabili)
- Articoli e report di policy
- Fonti audiovisive (schedate e verificate)

CAPITOLO 1

Introduzione e disegno della ricerca

1.1 Contesto e rilevanza del tema

Il B-2 Spirit è un velivolo bombardiere che ha rappresentato uno dei casi più rappresentativi in cui l'innovazione tecnologica militare si amalgama con scelte di politica estera, di deterrenza e vincoli economico-istituzionali¹. La sua rilevanza, infatti, scinde l'utilizzo strettamente militare: questa tesi permette di osservare in modo approfondito le trasformazioni del potere strategico contemporaneo, inclusa la deterrenza nucleare e il rapporto tra superiorità militare e la legittimità politica².

In relazione alle scienze politiche e agli studi strategici, con particolare riferimento alla sicurezza internazionale, il B-2 risulta particolarmente rilevante in virtù di quattro incroci strategici che ne definiscono la centralità analitica. In primo luogo, esso garantisce la capacità di penetrazione in ambienti fortemente difesi, rappresentando uno strumento idoneo ad operare anche in contesti caratterizzati da sistemi di difesa aerea avanzati³. In secondo luogo, la sua evoluzione e il suo impiego si collocano nel più ampio processo di trasformazione delle minacce e delle relative contromisure, tra cui gli IADS, i radar avanzati e le difese integrate, che impongono un costante adattamento tecnologico e dottrinale⁴. Un terzo elemento riguarda i costi e l'economia politica dei programmi d'armamento, aspetto che apre una riflessione sulle scelte di allocazione delle risorse e sulle priorità strategiche degli Stati⁵. Infine, il B-2 solleva implicazioni etiche e questioni di responsabilità connesse alla guerra "a bassa osservabilità", interrogando il dibattito contemporaneo sulla trasparenza, sulla percezione del conflitto e sui limiti dell'uso della forza.

La mia scelta di analizzare il B-2 Spirit, vuole analizzare e ricercare la funzione del potere di un aereo strategico in un'epoca caratterizzata da instabilità geopolitica, la competizione e la tensione tra le grandi potenze mondiali e la sostenibilità finanziaria e controllo politico mondiale.

1.2 Problemi di ricerca e obiettivi

Il problema di ricerca che ho riscontrato può essere descritto come segue: una delle tecnologie più segrete e uniche al mondo, simbolicamente potente e considerata "necessaria" se impone infrastrutture, manutenzione specialistiche e costi elevatissimi, inoltre opera entro margini che limitano la trasparenza e il controllo⁶.

¹ U.S. Air Force, "B-2 Spirit Fact Sheet," U.S. Air Force, <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104482/b-2-spirit/>.

² Lawrence Freedman, *Deterrence* (Cambridge: Polity Press, 2004).

³ Congressional Research Service, *U.S. Strategic Bombers* (Washington, DC: Congressional Research Service, 2026).

⁴ Congressional Research Service, *Air and Missile Defense: Integrated Air Defense Systems (IADS)* (Washington, DC: Congressional Research Service)

⁵ Congressional Budget Office, *Projected Costs of U.S. Nuclear Forces, 2025 to 2034* (Washington, DC: Congressional Budget Office, April 24, 2025), <https://www.cbo.gov/publication/61362>.

⁶ U.S. Government Accountability Office, *Weapon System Sustainment: Selected Air Force and Navy Aircraft Generally Have Not Met Availability Goals* (Washington, DC: GAO).

Questi incroci tra vantaggi strategici e vincoli economico-politici è al centro della tesi.

La presente ricerca si articola attorno a quattro obiettivi principali, che ne definiscono l'impianto analitico e interpretativo. In primo luogo, si propone di analizzare l'importanza strategica e geopolitica del B-2 all'interno della dottrina militare statunitense, valutandone il ruolo nella proiezione di potenza e nella configurazione degli equilibri internazionali. In secondo luogo, la tesi intende esaminare gli aspetti di sostenibilità del ciclo di vita del programma, con particolare attenzione ai costi complessivi e alle implicazioni economiche connesse alla sua manutenzione e al suo aggiornamento nel tempo. Un terzo obiettivo consiste nell'esplorare le implicazioni etiche e politiche legate all'impiego di un velivolo a doppia capacità, "jet certificato all'impiego sia di armi convenzionali e nucleari", soffermandosi sulle conseguenze che tale caratteristica comporta in termini di deterrenza, responsabilità e percezione internazionale. Infine, la ricerca mira a rispondere in modo critico e bilanciato alla domanda centrale della tesi: "è una supremazia tecnologica o un'illusione strategica?".

1.3 Domanda di ricerca

La domanda di ricerca principale è: Il B-2 Spirit è un asset strategico necessario per gli Stati Uniti?

La domanda centrale della tesi ammette due prospettive contrapposte. Da un lato, è possibile formulare una risposta positiva, fondata sui benefici strategici e geopolitici derivanti dalla deterrenza e dalla capacità di proiezione globale, elementi che rafforzerebbero la posizione degli Stati Uniti nello scenario internazionale. Dall'altro lato, si può sostenere una risposta negativa, incentrata sui costi elevati, sui vincoli di sostenibilità del programma e sulle implicazioni politiche ed etiche connesse all'impiego di una tecnologia così avanzata, sofisticata e al tempo stesso opaca.

1.4 Ipotesi di lavoro

La tesi individua tre posizioni concorrenti attorno alle quali si sviluppa il dibattito sulla reale necessità del B-2.

La prima prospettiva si fonda sulla necessità nello scenario ad alta intensità. Il B-2 Spirit risulterebbe necessario nella misura in cui garantisce un vantaggio asimmetrico in termini di capacità di penetrazione e di conduzione di bombardamenti profondi contro avversari dotati di difese avanzate, preservando al contempo la credibilità della deterrenza e ampliando il margine di scelta politica nelle crisi ad alto rischio.

La seconda posizione richiama invece l'idea di un rendimento decrescente rispetto ai costi e ai vincoli di sostenibilità. In questa prospettiva, l'utilità del B-2 diventa meno necessaria qualora la limitata dimensione della flotta, insieme agli elevati costi unitari di costruzione e manutenzione, riduca la disponibilità operativa e la resilienza complessiva del sistema, aprendo così lo spazio a soluzioni alternative più economiche, caratterizzate da maggiore scalabilità produttiva e da una riduzione dei costi attraverso l'impiego di sistemi autonomi.

La terza posizione introduce una necessità condizionata dalla legittimità e dall'escalation management. Anche qualora il B-2 possa essere descritto come tecnicamente efficace, esso non potrebbe essere considerato politicamente "necessario" se la segretezza operativa e la capacità di colpire senza preavviso aumentano i rischi di mancata percezione, abbassano la soglia decisionale per l'uso della forza e sollevano questioni critiche in termini di responsabilità e proporzionalità.

1.5 Criteri e indicatori per valutare la “necessità” del B-2

Il concetto di “necessità” è qui inteso in senso politico-strategico. Una capacità può essere definita necessaria quando abilita opzioni che altrimenti non esisterebbero, ampliando in modo concreto il ventaglio delle scelte disponibili ai decisori politici; quando produce un vantaggio credibile e sostenibile nel tempo, tale da incidere stabilmente sugli equilibri strategici; e, infine, quando mantiene un rapporto accettabile tra benefici e costi, garantendo che l’investimento richiesto sia giustificato dai risultati ottenuti in termini di sicurezza e deterrenza.

La valutazione si fonda su una serie di indicatori che consentono di analizzare in modo strutturato la reale utilità del B-2.

Il primo riguarda il vantaggio strategico distinto, inteso come capacità di penetrare difese avanzate e colpire obiettivi critici, nonché come contributo concreto alla deterrenza e alla proiezione globale. Non si tratta soltanto di una superiorità tecnica, ma di un vantaggio capace di incidere sugli equilibri strategici e sulla postura internazionale degli Stati Uniti.

Il secondo indicatore attiene alla credibilità operativa e alla sostenibilità. In questo senso, non rileva esclusivamente il potenziale tecnico della piattaforma, ma la sua effettiva disponibilità operativa, insieme ai requisiti di manutenzione e alle infrastrutture necessarie, elementi che incidono direttamente sulla capacità di generare azioni militari nel tempo.

Il terzo criterio concerne il rapporto costo-efficacia e lo scambio di bilancio, includendo sia i costi di sviluppo sia quelli operativi, nonché l’impatto che tali oneri esercitano sull’allocazione complessiva delle risorse rispetto a capacità alternative. L’analisi si concentra dunque sul valore strategico prodotto in relazione all’investimento richiesto.

Un quarto indicatore è rappresentato dall’utilità negli scenari contemporanei. In questo ambito si valuta l’adattabilità del B-2, dal deterrente nucleare agli impieghi convenzionali e alle missioni di precision strike, oltre alla sua effettiva rilevanza nei conflitti moderni, anche alla luce della critica di una possibile “utilità limitata” nei contesti asimmetrici.

Il quinto elemento di valutazione riguarda l’impatto geopolitico e la competizione tecnologica, considerando il ruolo del velivolo nella deterrenza estesa e nel signaling verso alleati e avversari, nonché gli eventuali effetti di reazione che la sua presenza può generare nel sistema internazionale.

Infine, l’ultimo indicatore concerne la legittimità e l’etica dell’uso della forza. In questo quadro emergono la tensione tra segretezza operativa e controllo pubblico, il rischio di un abbassamento della soglia decisionale per l’impiego della forza e le questioni di proporzionalità e danni collaterali, che assumono rilevanza sia operativa sia politica.

Nel loro insieme, questi indicatori permettono di trasformare una domanda apparentemente assoluta in una valutazione verificabile e articolata: l’utilità del B-2 Spirit potrebbe risultare, a seconda dei parametri considerati, non necessaria per via della sua potenza, oppure necessaria ma non sostenibile sotto il profilo economico, o ancora sostenibile ma politicamente problematica.

1.6 Metodologia, fonti e limiti

La mia ricerca adotta un approccio interdisciplinare, combinando fonti primarie e secondarie: documenti governativi, report ufficiali, documentari online, articoli accademici e dati operativi

disponibili, nei limiti delle disponibilità visto la segretezza di questo velivolo, così da valutare il B-2 lungo dimensioni strategiche, economiche e politico-etiche.

L'impianto metodologico della tesi si fonda su tre principi guida.

Il primo riguarda la ricerca e la convalida delle evidenze. Considerato che molte informazioni tecniche dettagliate risultano classificate, la stesura si è basata sull'analisi e sull'aggregazione di fonti pubblicamente disponibili, che sono state raggruppate e sistematizzate per costruire un quadro il più possibile coerente e unitario.

Il secondo principio è rappresentato dall'analisi comparativa e controfattuale. La necessità del B-2 non viene valutata in modo isolato, ma stimata anche attraverso il confronto con alternative funzionali e mediante la considerazione del costo-opportunità dell'investimento, così da comprendere quali capacità sarebbero potute emergere destinando le medesime risorse ad altri strumenti.

Infine, la tesi adotta un criterio di cautela inferenziale nelle sezioni dedicate all'etica e al diritto. Non si assume in via tecnica che la stealth, come suggerisce il termine stesso, sia di per sé "illecita" o "immorale"; piuttosto, si analizza in che modo le caratteristiche di bassa osservabilità e segretezza possano incidere sulla trasparenza, sullo scrutinio pubblico, sull'eventuale impiego preventivo e, più in generale, sulle implicazioni etiche e giuridiche dell'uso della forza.

Nella stesura della presente tesi sono emersi alcuni limiti principali che è necessario esplicitare.

Il primo riguarda l'asimmetria informativa legata ai "segreti militari", che impone di fondare l'analisi esclusivamente su evidenze pubblicamente accessibili, con la consapevolezza che una parte delle informazioni tecniche e operative rimane inevitabilmente non disponibile.

Un secondo limite consiste nel rischio di sovrastimare il valore tecnologico della piattaforma, attribuendole un peso eccessivo in quanto simbolo di eccellenza ingegneristica, oppure, al contrario, di ridurre la valutazione ai soli costi economici, trascurando le dimensioni strategiche e politiche più ampie.

Infine, occorre considerare il mutamento del contesto strategico, segnato dalla transizione verso nuove piattaforme e nuovi paradigmi operativi. Ciò rende necessario distinguere con attenzione tra il valore storico del B-2 e la sua effettiva rilevanza futura, evitando valutazioni ancorate esclusivamente al passato o proiettate in modo acritico nel lungo periodo.

CAPITOLO 2

Quadro teorico e revisione della letteratura

2.1 Deterrenza, credibilità e comunicazione

Nell'ambito delle scienze politiche e degli studi strategici internazionali, la deterrenza non coincide con la sola disponibilità di forza militare, ma con la capacità di trasformare la forza in un'aspettativa credibile di costi inconcepibili per l'avversario⁷. La deterrenza si fonda su tre elementi: deterrenza, credibilità e comunicazione⁸. La deterrenza riguarda i mezzi sia tecnologici che economici; la credibilità concerne la volontà di utilizzo, e comunicazione poiché determina se il messaggio viene compreso dal mondo intero.

Il B-2 Spirit si colloca precisamente in questo schema: la sua architettura stealth e la sua presenza a livello globale non producono solo un vantaggio operativo, ma diventano uno strumento di comunicazione in grado di influenzare le decisioni altrui a livello strategico. La tesi individua già l'idea di "deterrenza visibile" come tratto distintivo, a differenza di risorse invisibili per definizione, il dispiegamento del B-2 può assumere valore comunicativo e politico, segnalando prontezza e capacità di risposta immediata al mondo intero.

In questa prospettiva, la "necessità" del B-2 Spirit non si misura solo in termini di prestazioni aeronautiche, ma in termini di effetti strategici per gli USA:

In quali condizioni questa risorsa militare modifica le aspettative e i comportamenti degli avversari e degli alleati? E quando invece, l'effetto comunicativo viene neutralizzato da contromisure, o incremento della resilienza difensiva?

2.2 Gestione delle competenze e dell'escalation.

Insieme alla deterrenza, si può distinguere la *compellence* cioè portare a indurre un attore a modificare un comportamento già in corso⁹. Questa distinzione è fondamentale perché con la stessa capacità militare si possono avere due diversi output strategici a seconda di come viene utilizzato; quindi, potrebbe servire per dissuadere o per coercire.

Il B-2 Spirit, per caratteristica di penetrazione e precisione, può essere categorizzato come uno strumento di costrizione "selettiva", potenzialmente idoneo a colpire bersagli critici riducendo la

⁷ Thomas C. Schelling, *Arms and Influence* (New Haven: Yale University Press, 1966)

⁸ Lawrence Freedman, *Deterrence* (Cambridge: Polity Press, 2004)

⁹ Thomas C. Schelling, *Arms and Influence* (New Haven: Yale University Press, 1966).

necessità di muovere una quantità di soldati su larga scala. In questa logica rientra l'argomento, presente nella tesi, secondo la quale la precisione può avere un effetto di contenimento dei danni collaterali come vite umane innocenti, vite di soldati e di riduzione dell'intensità complessiva della violenza.

Tuttavia, l'efficacia coercitiva non è un'azione automatica. L'imposizione della paura comporta rischi di escalation e di misperception.¹⁰ Un esempio sarebbe colpire il nemico in bunker situati in profondità senza preavviso, può aumentare l'incertezza dell'avversario e spingerlo a interpretare l'azione come anticipazione ad un'operazione più ampia.

2.3 Tecnologia e strategia: vantaggio, adattamento, *overconfidence*

Il nodo centrale che tiene il rapporto fra l'innovazione tecnologica e il vantaggio strategico. Negli anni la storia delle competizioni militari hanno sempre mostrato che le tecnologie Innovative raramente restano un vantaggio permanente: generano invece cicli di adattamento e contro adattamento nella quale altri paesi o nemici riescono a spingere le loro tecnologie migliorando o pareggiando quelle già esistenti¹¹. In questa bolla, la tecnologia stealth potrebbe Spingere gli avversari ad intensificare le proprie risorse nello sviluppo di radar a bassa frequenza, sensori l'aumento di difese e in generale in architetture sempre più complesse.

Questa tesi evidenzia questa capacità di essere superiore nonostante lo sviluppo tecnologico altrui: la capacità del B-2 di penetrare difese nemiche avanzate obbligando i concorrenti ad entrare in una nuova fase di competizione tecnologica.

Questa impostazione consente di introdurre un ulteriore elemento di riflessione, ossia il fattore di rischio connesso alla supremazia tecnologica: la tendenza a trasformare un vantaggio tecnico in una presunzione di superiorità strategica generalizzata. Il fatto di disporre di una tecnologia avanzata non implica automaticamente un primato stabile sul piano operativo o strategico, né garantisce risultati coerenti con gli obiettivi politici perseguiti.

Per questa ragione, la tesi si propone di distinguere con chiarezza tra tre livelli analitici differenti: il vantaggio tecnico, inteso come superiorità nelle caratteristiche tecnologiche della piattaforma; il vantaggio operativo, relativo alla sua effettiva efficacia nell'impiego militare concreto; e infine il vantaggio strategico, che riguarda l'impatto complessivo sugli equilibri di potere, sulla deterrenza e sulle scelte politiche di lungo periodo¹².

il B-2 Spirit è il caso ideale per testare questa distinzione: e senza dubbio la tecnologia che ha introdotto un vantaggio tecnico ed operativo in contesti specifici; e meno scontato che tale vantaggio si possa tradurre sempre in superiorità strategica, soprattutto se dall'altro lato l'avversario investe sempre di più in contromisure e se la sostenibilità operativa cioè i costi di produzione e di manutenzione erode la disponibilità della piattaforma.

2.4 A2/AD, *security dilemma* e spirale di contromisure

¹⁰ Robert Jervis, *The Meaning of the Nuclear Revolution: Statecraft and the Prospect of Armageddon* (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1989).

¹¹ Kenneth N. Waltz, *Theory of International Politics* (New York: McGraw-Hill, 1979).

¹² Robert Jervis, "Cooperation Under the Security Dilemma," *World Politics* 30, no. 2 (1978): 167–214.

Il paradigma A2/AD (anti-access/area denial) Descrive un insieme di strategie e sistemi volti a impedire o rendere proibitivo l'ingresso e l'operatività di forze nemiche in aree sensibili¹³. In questi contesti, la tecnologia stealth assume un valore come strumento di rottura della negazione d'aree: cioè contribuire a superare difese stratificate e a colpire punti strategici come basi missilistiche, radar, comandi, che permette la facilitazione d'ingresso di ulteriori forze via aeree che terrene.

La tesi, quindi, collega direttamente il bombardiere B-2 a questa funzione cioè progettata per penetrare le difese più sofisticate, e capace di colpire in modo strategico obiettivi critici riducendo la possibilità di un controfuoco dell'avversario.

Questa dinamica è attiva in un meccanismo di relazioni internazionali: il security dilemma. Un miglioramento difensivo di una parte può apparire offensivo e destabilizzante per un altro, generando contromisure, reingegnerizzazione militare riarmo della parte che potrebbe sentirsi minacciata da questa tecnologia. La tesi infatti riporta reazioni di grandi potenze mondiali come la Russia che ha intensificato i programmi di difesa aerea e modernizzazione della sua posizione strategica, mentre la Cina ha investito in radar avanzati come il “JY-26 chiamato il killer di stealth”, in difesa missilistica e nello sviluppo di un bombardiere strategico stealth cinese chiamato H-20.

La conseguenza sulla carta è chiara: il valore strategico americano del B-2 non può essere valutato come un fattore costante, ma come una variabile in un sistema che va sempre più adattandosi e dove ogni incremento di capacità produce risposte e ribilanciamenti mondiali.

2.5 Economia politica della difesa: procurement, path dependency, small fleet problem

Le grandi piattaforme strategiche non sono soltanto strumenti militari, ma anche il risultato di processi politici, industriali e burocratici che ne condizionano sviluppo, produzione e impiego. Il B-2 esemplifica in modo particolarmente evidente queste dinamiche, come emerge da due fattori centrali analizzati nella tesi.

Il primo riguarda l'enorme costo complessivo del programma e l'impatto della produzione limitata, ridotta a soli 21 esemplari. Questa scelta ha determinato un aumento significativo del costo per unità, contribuendo ad accrescere la vulnerabilità del programma sia sotto il profilo economico sia sotto quello politico.

Il secondo fattore concerne la trasformazione della furtività in un problema di sostenibilità economica. La manutenzione complessa e il mantenimento delle caratteristiche stealth incidono direttamente sui costi operativi e sulla disponibilità effettiva della piattaforma. Nei capitoli successivi verranno riportati i dati relativi ai valori operativi e ai costi di manutenzione, elementi che alimentano il dibattito sul rapporto tra costi e benefici e sulle priorità della spesa interna.

Questo ci guida un concetto chiave per la valutazione della “necessità” del problema della piccola flotta. Una capacità che è altamente performante ma allo stesso tempo numericamente limitata può risultare strategicamente preziosa e virgola al contempo, poco resiliente: la perdita anche di pochi asset e l'impossibilità di generare con continuità nuovi asset di questo genere possono ridurre la credibilità complessiva del programma e della superiorità. E su questo punto che la tesi e

¹³ Congressional Research Service (CRS), *U.S. Strategic Bombers*, In Focus IF12945 (Washington, DC: Congressional Research Service, 6 January 2026).

particolarmente rigorosa: una piattaforma può essere unica e al contempo non essere necessaria se non è sostenibile e disponibile in qualsiasi momento?

2.6 Gap di ricerca e contributo della tesi

Sulla base di quanto emerso nei capitoli precedenti, si individuano tre gap ricorrenti che questa tesi intende colmare attraverso un'impostazione analitica più solida e coerente.

Il primo riguarda la confusione tra livelli di analisi. In molte discussioni e ricerche si passa dal piano tecnico a quello strategico senza esplicitare il ponte causale che collega i due ambiti. In questa tesi, invece, viene introdotta una distinzione sistematica tra vantaggio tecnico, vantaggio operativo e vantaggio strategico, valutando la necessità del velivolo esclusivamente al livello analitico appropriato e chiarendo le connessioni tra i diversi piani.

Il secondo gap concerne la scarsa integrazione tra sostenibilità e deterrenza. La deterrenza dipende dalla credibilità, e la credibilità, a sua volta, dipende dalla disponibilità e dalla sostenibilità della piattaforma. Per questo motivo, costi e manutenzione vengono considerati variabili strategiche e non semplicemente amministrative, poiché incidono direttamente sulla capacità effettiva di garantire continuità operativa nel tempo.

Il terzo elemento è rappresentato dalla limitata attenzione ai costi politici legati alla legittimità e alla responsabilità. Un approccio meno critico potrebbe relegare l'etica a una semplice appendice dell'analisi tecnica; al contrario, questa ricerca assume che segretezza, precisione e rischio di contrattacco possano influenzare la soglia e la forza di impiego, sollevando interrogativi sostanziali in termini di proporzionalità, controllo democratico e possibile disumanizzazione della guerra.

Il contributo principale della tesi consiste dunque in una valutazione articolata su più livelli e secondo diversi criteri di analisi, evitando letture unidimensionali del fenomeno.

In primo luogo, viene esaminato il ruolo della deterrenza e della segnalazione, considerando in che misura il B-2 contribuisca a rafforzare la credibilità strategica e a trasmettere messaggi chiari sia agli alleati sia agli avversari.

In secondo luogo, si analizza il tema dell'eventuale insostenibilità operativa, interrogandosi sulla reale capacità della piattaforma di mantenere nel tempo livelli adeguati di disponibilità e impiego, alla luce dei vincoli tecnici e manutentivi.

Un ulteriore profilo riguarda l'economia politica del programma, con attenzione ai processi decisionali, ai costi complessivi e alle dinamiche industriali e burocratiche che ne hanno condizionato sviluppo e continuità.

Infine, la tesi affronta le implicazioni in termini di stabilità e responsabilità, valutando come l'impiego di una tecnologia a bassa osservabilità incida sugli equilibri internazionali, sulla gestione dell'escalation e sul quadro etico-politico dell'uso della forza.

2.7 Framework analitico finale: griglia multicriterio

Per rendere la valutazione replicabile e coerente con la domanda di ricerca — “Il B-2 è un asset strategico necessario?” — la tesi adotta una griglia analitica articolata in sei dimensioni, che fungeranno da guida per i capitoli empirici.

La prima dimensione riguarda il vantaggio strategico distintivo, inteso come insieme di opzioni abilitate dalla piattaforma, quali la capacità di penetrazione e lo strike profondo, nonché il contributo alla deterrenza e al signaling nei confronti di alleati e avversari.

La seconda dimensione attiene alla credibilità e alla sostenibilità operativa, includendo elementi quali la readiness, il basing, i vincoli manutentivi e la concreta capacità di generare sortite nel tempo.

Il terzo criterio concerne il rapporto costo-efficacia e i trade-off, prendendo in considerazione il costo unitario, il costo del ciclo di vita e il costo-opportunità rispetto a possibili alternative funzionali.

La quarta dimensione analizza l'adattamento dell'avversario e la dinamica competitiva, valutando le contromisure e i processi di bilanciamento, in particolare nel confronto con Russia e Cina, nonché la resilienza della capacità nel lungo periodo.

La quinta dimensione riguarda l'utilità nei contesti contemporanei, distinguendo tra scenari ad alta intensità e conflitti asimmetrici, con attenzione ai limiti e alle condizioni di impiego.

Infine, la sesta dimensione concerne la legittimità e l'accountability, esaminando l'eventuale abbassamento della soglia d'impiego della forza, le questioni di proporzionalità, nonché i profili di trasparenza e responsabilità politica.

Attraverso questa impostazione, la domanda di ricerca può condurre a una risposta solida e non impressionistica: la necessità non viene trattata come un'etichetta, ma come un esito derivato dall'applicazione di criteri espliciti. Inoltre, la griglia analitica risulta coerente con la struttura complessiva della tesi, che integra in modo sistematico la dimensione strategica, quella economica e quella etico-politica.

CAPITOLO 3

Genesi del programma B-2: contesto storico-politico

3.1 Guerra Fredda e trasformazione delle difese aeree (IADS)

la nascita del B-2 Spirit si colloca nel momento storico della guerra fredda, quando la competizione tra Stati Uniti e Unione Sovietica non riguardava più soltanto il numero di testate nucleari, ma alla capacità di sopravvivere e prelevare in un ambiente tecnologicamente in rapida evoluzione¹⁴. Dopo un test sovietico fatto nel 1949, la risposta degli Stati Uniti incluse una massiccia evoluzione ed espansione in veicoli strategici soprattutto bombardieri che divennero pilastri della capacità di attacco e di difesa, come il B-52 Costruito dall'azienda statunitense Boeing nel 1955 e ancora oggi operativo.

Quel passare dei decenni, però, come tutte le tecnologie il vantaggio di un bombardiere tradizionale inizio a erodersi. La competizione tra queste due potenze mondiali non si limitò soltanto alla quantità di armi, ma anche a tecnologie come il radar sempre più avanzati, missili balistici intercontinentali e sistemi di difesa antiaerea, innescando così una sfida tecnologica continua che evidenzio le vulnerabilità delle piattaforme convenzionali¹⁵.

In particolare, la nascita e il perfezionamento delle difese aeree sovietiche resero più credibili le ipotesi che un'aviazione strategica “visibile” sarebbe stata intercettata prima di raggiungere gli obiettivi. La tesi richiama esplicitamente come il progresso di sistemi quali l'S-75 Dvina abbia reso evidente la vulnerabilità dei vecchi bombardieri, spingendo gli ingegneri della guerra americani a cercare nuove soluzioni innovative per eludere la scoperta e l'ingaggio¹⁶, Cercando così di migliorarsi nelle tecnologie invisibili. Possiamo dire che Entrambe le superpotenze si sarebbero spinti a vicenda per creare tecnologie sempre più avanzate che non sarebbero mai state usati l'uno contro l'altro.

In questo quadro, la logica dell'IADS (Integrated Air Defense System) assume un valore politologico: la difesa aerea integrata non è solo una tecnologia, ma un moltiplicatore di potere

¹⁴ Robert Jervis, *The Meaning of the Nuclear Revolution: Statecraft and the Prospect of Armageddon* (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1989).

¹⁵ Kenneth N. Waltz, *Theory of International Politics* (New York: McGraw-Hill, 1979)

¹⁶ Bill Sweetman, *Stealth Bomber: Invisible Warplane* (St. Paul, MN: Zenith Press, 1991)

difensivo che modifica incentivi e aspettative¹⁷. Come dicevo prima se l'avversario ritiene di poterne tranquillizzare una parte significativa della capacità di risposta, cambia il calcolo della deterrenza e alzerebbe la pressione verso la capacità di sopravvivere e rendersi credibile. E in questa tensione tra attacco strategico e la negazione d'area che si sarebbe maturato l'idea di costruire un bombardiere capace di penetrare nel suolo nemico illudendo i radar avanzati mostrandosi soltanto con la dimensione comparabile ad una lavatrice che potremmo trovare in tutte le case così da renderlo irrilevabile.

3.2 Bombardieri strategici e triade nucleare: ruolo politico-operativo

Nel paradigma della deterrenza nucleare della guerra fredda, l'idea della mutua distruzione assicurata presupponeva la capacità di sopravvivere ho un primo colpo e di garantire un secondo bombardamento devastante. La triade statunitense (ICBM, SSBM e bombardieri strategici) rispondeva a questa esigenza di ridondanza per garantire che nessun vettore potesse diventare un punto di debolezza, detto anche single point of failure¹⁸.

All'interno di questa triade, la componente strategica dei bombardieri manteneva e mantiene sempre un significato specificatamente politico: a differenza di missili di lunga gittata, i bombardieri B-2 potevano essere richiamati non riassegnati durante la missione, garantendo un margine di controllo e gestione della strategia nettamente superiore rispetto al nemico. Questo punto viene evidenziato nella tesi come uno dei vantaggi distintivi della componente militare aerea: la capacità di richiamo diventa un elemento strategico, perché consente di modellare la risposta strategicamente e di mantenere un canale di de escalation¹⁹.

Il B-2 si inserisce all'interno di questa logica come la risposta al problema emersa nella sezione precedente: se la difesa aerea e i nuovi radar sovietici riducono la credibilità della penetrazione dei bombardieri tradizionali, diventava necessario introdurre una tecnologia che ristabilisca di colpire in modo strategico obiettivi in profondità. Quindi la tesi definisce il ruolo del B-2 nella triade come essenziale per la penetrazione stealth, la flessibilità tra scegliere armi nucleari utilizzabili una volta soltanto e la deterrenza di velivoli bombardieri visibili era particolarmente significativa contro avversari con difesa avanzate.

Questo passaggio è decisivo per l'impianto della ricerca: la genesi del B-2 non è soltanto riconducibile all'evoluzione tecnologica militare, ma risponde anche ad un'esigenza politico strategica così da proteggere la credibilità della deterrenza ed avere più opzioni che consentano di gestire la crisi del conflitto.

3.3 Dallo sviluppo della tecnologia stealth al programma “Senior C.J.”

La tecnologia stealth nasce come risposta sistematica alla crescente capacità di scoperta e tracciamento dell'avversario²⁰. Negli anni 70, l'aumento delle tecnologie e la sofisticazione dei radar sovietici spinsero sempre di più gli Stati Uniti a sviluppare velivoli in grado di ridurre la propria

¹⁷ Congressional Research Service (CRS), *Air and Missile Defense: Integrated Air Defense Systems (IADS)* (Washington, DC: Congressional Research Service)

¹⁸ Congressional Research Service (CRS), *U.S. Strategic Bombers*, In Focus IF12945 (Washington, DC: Congressional Research Service, 6 January 2026)

¹⁹ Lawrence Freedman, *Deterrence* (Cambridge: Polity Press, 2004).

²⁰ Bill Sweetman, *Inside the Stealth Bomber* (St. Paul, MN: Zenith Press, 1999).

traccia radar²¹ attraverso due tecnologie fondamentali che rendono il B-2 quasi invisibile: grazie ai materiali speciali utilizzati nella costruzione di questi velivoli riescono ad assorbire energia radar e allo stesso tempo di deviare le onde radar lontano dalla sorgente²².

La tesi quindi si colloca in questo percorso dove i programmi precursori della tecnologia stealth operativa come l'F-117, Come dimostrazione di fattibilità, ma sottolineando come il B-2 rappresenti un salto tecnologico nettamente superiore ai suoi predecessori virgola non soltanto riducendo la sua traccia radar, ma integrando soluzioni per diminuire emissioni acustiche e emissioni infrarosse, con una progettazione pensata per operare e attraversare ambienti altamente difesi.

Il punto di svolta è stato l'avvio del programma "Senior C.J" nel 1979 indicato nella tesi come l'inizio dello sviluppo di un bombardiere strategico che avrebbe ridefinito i poteri militari mondiali ma soprattutto ridefinire la capacità statunitense.

Il significato politico del programma "Senior C.J" non risiede soltanto nel progetto tecnico, ma anche nella scelta di trasformare la tecnologia stealth da capacità tattica a uno strumento strategico. Da lì l'obiettivo implicito diventò ristabilire la credibilità della penetrazione e, quindi, della deterrenza in modo tale da dimostrare che anche le difese sviluppate dai nemici non avrebbero garantito l'invulnerabilità territoriale o la protezione di asset critici.

3.4 Northrop e governo USA: istituzioni, segretezza e governance del programma

la ricerca attribuisce un ruolo centrale nella collaborazione tra apparato statale industria della difesa. Northrop viene indicata come produttore unico del B-2 grazie alla sua storia di innovazione del design di velivoli sperimentali, in particolare l'ala volante YB-49 degli anni 40 principale caratteristica del B-2, Presentata come precedente concettuale importante per la costruzione di questo velivolo²³.

Il dipartimento della difesa americana ha supervisionato il programma riconoscendone l'importanza strategica ponendo la segretezza come priorità assoluta, dove ancora oggi questa tecnologia è ancora tra le tecnologie più segrete al mondo, con protocolli rigidi per evitare fughe di informazioni verso l'unione sovietica.

Sul piano politico, la segretezza produce una conseguenza rilevante: limita la verificabilità pubblica e rende più difficile il controllo democratico della valutazione dei costi benefici in tempo reale. Al tempo stesso nella logica della guerra fredda, questa scelta appare coerente con l'obiettivo di mantenere un vantaggio qualificativo e di ridurre la possibilità che l'avversario sviluppi tecnologie apposite di contromisure prima dell'entrata in servizio.

La tesi quantifica inoltre la portata economica del progetto: il costo totale approssimativo del programma viene indicato come superiore ai 44 miliardi di dollari, e viene presentato al governo come un investimento ritenuto essenziale per preservare la superiorità tecnologica e militare statunitense.

²¹ Benjamin S. Lambeth, *Air Power Against Terror: America's Conduct of Operation Enduring Freedom* (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2005).

²² U.S. Air Force, "B-2 Spirit Fact Sheet," U.S. Air Force, <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104482/b-2-spirit/>.

²³ Government Accountability Office (GAO), *Defense Acquisitions: Assessments of Selected Weapon Programs* (Washington, DC: GAO).

In questa fase quindi emerge già una tensione che attraversa tutta la tesi: la capacità stealth viene categorizzata come un bene raro e altamente sofisticato, e tale scelta ha prodotto una dipendenza strutturale da infrastrutture, e aggiornamenti continui punto in altri termini, La governance del programma B-2 non riguarda soltanto la costruzione di un aereo, ma come sostenere una capacità strategica negli anni a venire.

3.5 Anni Ottanta: riarmo, SDI e segretezza come scelta strategica

Gli anni 80 rappresentarono una fase di accelerazione della competizione strategica, infatti lo sviluppo del B-2 ²⁴viene collocata in un contesto di intensificazione del confronto USA-URSS e di massiccio riarmo promossa dall'amministrazione Reagan, culminato nella Strategic Defense Initiative Detta SDI, orientata allo sviluppo di una difesa basata su tecnologie avanzate.

La rilevanza di questo periodo per la genesi del B-2 è duplice. Da un lato, la SDI esprime una logica di innovazione come strumento politico strategico: spostando la competizione sul terreno tecnologico per rendere più difficile la risposta dell'avversario. Dall'altro invece, l'introduzione di nuove piattaforme strategiche, tra cui il B-2, riflette la volontà di preservare ed aumentare la netta superiorità strategica americana in uno scenario di crescenti tensioni e di difese tecnologiche avversarie sempre più sofisticate.

In questo quadro, la segretezza del progetto non è solo volta alla protezione industriale: è parte di una strategia di competizione tecnologica. Riuscire a ottenere nascosta l'architettura di una capacità può ritardare lo sviluppo di contromisure nemiche, ampliando la finestra temporale in cui la nuova piattaforma produce un vantaggio. Tuttavia, come detto prima, questa scelta ha prodotto anche un costo politico interno: con un dibattito pubblico più povero di informazioni e maggiore difficoltà di scrutinio rischio di overconfidence in questa nuova tecnologia.

3.6 Dopo il 1991: fine della Guerra Fredda, multipolarità e adattamento del B-2

Nel 1991 il crollo dell'unione sovietica cambia il contesto internazionale radicalmente. La tesi descrive il passaggio verso un sistema più complesso, con nuove sfide quali proliferazione nucleare e conflitti, sottolinea come il B-2, prima concepito per come bombardiere nucleare, poteva adattarsi a missioni di penetrazione non nucleare, rendendolo una piattaforma molto più versatile²⁵.

L'adattamento operativo ha dimostrato attraverso l'emissione citati nella tesi, come nel 1999, durante la guerra del Kosovo, il B-2 venne impiegato nella campagna NATO contro la Jugoslavia per colpire infrastrutture tecniche, bunker a grande profondità e siti radar, sfruttando la sua tecnologia stealth e la precisione per condurre strike in ambienti difesi .

Dopo l'undici settembre, il B-2 venne utilizzato in Afghanistan con l'operazione enduring Freedom per colpire obiettivi ad alto valore, sottolineando la capacità di effettuare missioni di lunga durata senza la necessità di dipendere da basi regionali con l'ausilio soltanto di aerei tanker, che le permettono di attraversare l'atlantico, bombardare, rifornirsi durante il volo e tornare alla base operativa. E questo è un elemento che la tesi collega alla proiezione globale e alla flessibilità geopolitica americana.

²⁴ Lawrence Freedman, *The Evolution of Nuclear Strategy*, 3rd ed. (London: Palgrave Macmillan, 2003).

²⁵ Benjamin S. Lambeth, *NATO's Air War for Kosovo* (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2001).

Nel 2011, nell'ambito dell'operazione odissey Dawn, viene evidenziato l'impiego del B-2 per neutralizzare difese aeree e infrastrutture radar, contribuendo a creare condizioni favorevoli alle operazioni senza avere necessariamente dispiegare forze di terra.

Sul piano politico strategico, queste emissioni mostrano il passaggio da una logica di deterrenza nucleare “bipolare” a una logica di gestione di crisi, interventi e coercizione in contesti regionali. In questo passaggio, tecnologia stealth non dimostra di essere soltanto un vantaggio tecnico ma diventa una risorsa politica perché riduce le dipendenze diplomatiche, ampliando le opzioni di risposte e rendono più credibili le capacità di colpire obiettivi protetti.

3.7 Controversie, costi e razionalità strategica: la genesi del dilemma

La genesi del B-2 incorpora fin dall'origine un dilemma che attraversa tutto il progetto: una capacità estremamente avanzata molto costosa, limitata numericamente e manutentivamente complessa. La tesi si lega direttamente al costo unitario della produzione limitata, indicando che sono stati costruiti soltanto 21 esemplari operativi e che ciò ha aumentato significativamente il costo unitario per velivolo. Stimato a circa 2,1 miliardi di dollari per unità²⁶.

Dal punto di vista della sostenibilità, Gli studi riportano come la manutenzione sia straordinariamente impegnativa, con circa 60 ore di manutenzione per ogni ora di volo e di costi operativi elevati, in parte legati alla necessità di preservare il rivestimento stealth in condizioni ottimali, visto che una minima deformazione o imperfezione potrebbe renderla visibile ai radar di nuova generazione.

Questi elementi sono politicamente rilevanti perché alimentano sempre di più il dibattito interno sulla spesa, anche perché i fondi destinati al B-2 avrebbero potuto essere allocati su tecnologie meno costose e più efficienti e che l'elevato costo ha stimolato controversie sul bilanciamento tra spese militari e priorità domestiche.

Dall'altro lato, la tesi sostiene che, nonostante il costo elevato, il B-2 offre vantaggi strategici difficilmente sostituibili: la capacità che questo velivolo ha di penetrare difese avanzate, la capacità di eseguire missioni sia nucleari che convenzionali e soprattutto l'impatto geopolitico come segnali di deterrenza globale la rendono quasi insostituibile.

La razionalità strategica che può giustificare il programma può essere formulata in modo chiaro: di fronte a un avversario capace di negare l'accesso e minacciare la credibilità della deterrenza della componente aerea, Gli Stati Uniti hanno scelto una soluzione di innovazione radicale, accettando i costi elevati e l'inferiorità numerica in cambio di un vantaggio qualitativo. Ma la stessa struttura del programma produce un interrogativo che resta aperto e che motiva l'intera ricerca: la superiorità tecnologica ottenuta è sostenibile e strategicamente necessaria anche al di fuori del contesto originario della guerra fredda?

²⁶ Congressional Budget Office (CBO), *Projected Costs of U.S. Nuclear Forces, 2025 to 2034* (Washington, DC: Congressional Budget Office, April 24, 2025), <https://www.cbo.gov/publication/61362>.

CAPITOLO 4

Il B-2 come sistema: architettura tecnico-operativa, costruzione e struttura

4.1 Dalla “stealth technology” alla *low observable architecture*²⁷

Ridursi a dire che il B-2 Spirit sia soltanto un aereo invisibile sarebbe soltanto dispregiativo. La furtività non è una proprietà data da un unico componente, ma il risultato di un'architettura abbassa visibilità in cui forma, materiali, integrazione di sottosistemi e prassi operative si uniscono per creare una tecnologia volta a diminuire la probabilità di scoperta, tracciamento e ingaggio. Nella tesi emerge con chiarezza un'impostazione di sistema: la bassa osservabilità del B-2 non è il risultato di un singolo accorgimento tecnico, ma deriva da una combinazione integrata di soluzioni che agiscono simultaneamente su più fronti, incidendo sulle tecnologie radar, infrarosse e acustiche.

Questa impostazione rende necessaria distinguere tra diversi livelli di effetto operativo. In primo luogo, la riduzione della probabilità di scoperta e della qualità del tracciamento, che incide direttamente sulla capacità dell'avversario di individuare e seguire il velivolo in modo accurato. In secondo luogo, la riduzione delle finestre temporali utili per l'ingaggio, limitando il tempo a disposizione dei sistemi di difesa per reagire in modo efficace. Infine, la riduzione della prevedibilità del profilo di missione, che contribuisce ad aumentare l'incertezza dell'avversario circa traiettorie, tempi e modalità di impiego, rafforzando così il vantaggio operativo complessivo.

Questa ricerca, quindi, è centrale all'interno di questa tesi: se la necessità del B-2 è valutata sul piano strategico, allora la sua tecnologia a bassa osservabilità va intesa come capacità politico operativa più che come semplice caratteristica aeronautica.

4.2 Riduzione della firma radar: logiche di dispersione e assorbimento²⁸

²⁷ Bill Sweetman, *Inside the Stealth Bomber* (St. Paul, MN: Zenith Press, 1999).

²⁸ U.S. Air Force, “B-2 Spirit Fact Sheet,” U.S. Air Force, <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104482/b-2-spirit/>.

La sfida progettuale principale, riguarda la riduzione dell'impatto radar detta RCS, cioè la quantità di energia radar riflessa verso la sorgente. Il risultato di questa tecnologia porta alla visualizzazione di un velivolo di grandezza straordinaria con apertura alare di circa 52 m comparabile a quella di un piccolo uccello.

Le soluzioni adottate seguono due logiche complementari, che operano in modo integrato all'interno della stessa architettura progettuale.

La prima è quella della dispersione controllata attraverso la geometria e le superfici. Il design curvilineo, privo di spigoli marcati e di superfici verticali, contribuisce a ridurre la presenza di riflettori radar anche rispetto ai sistemi più efficaci, deviando le onde elettromagnetiche lontano dai sensori avversari anziché rifletterle direttamente verso la fonte di emissione.

La seconda logica è quella dell'assorbimento tramite rivestimenti e materiali specifici. I materiali radar-assorbenti, noti anche come RAM, trasformano parte dell'energia elettromagnetica incidente in calore, diminuendo così l'intensità del segnale riflesso verso il radar nemico e contribuendo ulteriormente alla riduzione della traccia rilevabile.

Dal punto di vista della competizione tecnologica e strategica, questa è la dimensione in cui la supremazia tecnologica può tradursi in un vantaggio operativo: riducendo il suo rilevamento tracking, il B-2 due aumenta la probabilità di raggiungere obiettivi come bunker in profondità, riducendo la necessità di neutralizzare il sistema difensivo dell'avversario.

4.3 Materiali compositi e rivestimenti RAM: la “pelle” come capacità operativa

La tecnologia RAM ha un ruolo essenziale nella capacità stealth: vengono utilizzati multistrati e particelle che dissipano l'energia il radar, vernici speciali per attenuare ancor di più la riflessione e compositi avanzati che, oltre alla funzione di osservabilità limitata, migliorano la leggerezza e la resistenza strutturale del velivolo²⁹.

Questo passaggio è politicamente irrilevante perché consente di formulare un punto chiave della tesi: la furtività non è soltanto un vantaggio in combattimento, ma ha un impegno permanente di sostenimento. Le fonti sottolineano infatti che crepe o abrasioni potrebbero compromettere le capacità stealth, imponendo così controlli molto rigorosi prima e dopo la missione e manutenzione specializzata per ogni centimetro del rivestimento.

Quindi ne deriva un'implicazione analitica molto forte: la tecnologia di osservabilità limitata non è una dote una tantum, ma una capacità degradabile che dipende dalle infrastrutture, dalla competenza e tempi di manutenzione. Questo legame tra la tecnologia e la sostenibilità sarà sviluppato nel prossimo capitolo, ma qui va già evidenziato come un vantaggio tecnologico e tecnico possa trasformarsi in un vincolo organizzativo.

4.4 Aerodinamica dell'ala volante: vantaggi e trade-off di stabilità

il B-2 adotta una configurazione detta ala volante come scelta progettuale che unisce efficienza aerodinamica e riduzione della traccia radar “il B-2 ha una architettura insolita rispetto a tutti gli altri velivoli esistenti”, Le fonti spiegano che l'assenza delle superfici verticali riducono la resistenza o dinamica rendendola molto più efficiente e la riduzione delle riflessioni radar; Inoltre il

²⁹ U.S. Air Force, “B-2 Spirit Fact Sheet.

profilo continuo e l'ottimizzazione dei bordi e dei pannelli contribuiscono alla dispersione delle onde radar³⁰.

L'ala volante, inoltre, introduce un problema strutturale cioè l'instabilità di volo. Questo e instabilità non è stato un difetto accidentale ma l'altro lato della medaglia di una scelta che è in limina derivate e timoni tradizionali punto in termini di Scienze politiche applicate alla tecnologia militare, il punto è che il vantaggio nasce da un compromesso: ridurre firme resistenze aerodinamiche comportano maggiore dipendenza da sistemi di controllo avanzati e quindi da software sensori ridondanze.

4.5 Fly-by-wire e controlli: il software come parte della piattaforma

Le fonti descrivono la soluzione a tale instabilità: un sistema fly by Wire completamente digitale, che elabora grandi quantità di dati per mantenere la stabilità e consentire manovre precise, essenziali per missioni di attacco di precisione, tra l'altro questa tecnologia viene adottata da qualche decennio anche da aerei di linea³¹.

È fondamentale cogliere un punto teorico centrale: questo velivolo non può essere inteso come una semplice piattaforma meccanica, ma come un sistema complesso, costituito dall'integrazione di componenti meccanici e sistemi cibernetici aeronautici. In esso, algoritmi di controllo, sensoristica avanzata e superfici mobili cooperano per generare una stabilità artificiale, che non è intrinseca alla sola struttura aerodinamica, ma dipende da un equilibrio costantemente gestito dal sistema.

Questa configurazione comporta una crescente dipendenza da tre fattori critici. In primo luogo, dall'affidabilità dei sensori e dei sistemi digitali, che devono operare con precisione per garantire sicurezza e performance. In secondo luogo, dalla manutenzione e dagli aggiornamenti continui, necessari per preservare l'integrità tecnologica della piattaforma nel tempo. Infine, dalla protezione contro guasti e degrado prestazionale, poiché eventuali vulnerabilità tecniche possono incidere direttamente sulla disponibilità operativa e sull'efficacia complessiva del velivolo.

Questo aspetto rafforza l'argomento generale della tesi: i due lati della medaglia sono la superiorità tecnologica avendo capacità uniche, ma anche forme di vulnerabilità che incidono sulla sostenibilità strategica

4.6 Propulsione integrata e riduzione della firma infrarossa e acustica

la riduzione della firma non riguarda soltanto il radar. Tutta la struttura del B-2 è stata ottimizzata in modo ridurre la sua firma sui radar, i motori sono stati incassati nella struttura, anche i gas di scarico vengono raffreddati e dispersi tramite condotti speciali, riducendo la visibilità ai sensori termici³²: inoltre sono state progettate delle soluzioni orientate alla silenziosità operativa, con turbine progettate per ridurre il rumore dei due motori GE F118-GE-100.

I motori General Electric F118-GE-100: sono motori turbojet privi di postbruciatore, con integrazione nella struttura e prese d'aria progettati per ridurre la firma infrarossa con rilevamento di calore, oltre a garantire un'autonomia di lungo raggio con possibilità di rifornimento in volo.

l'integrazione propulsiva è un elemento di bassa osservabilità in senso pieno: nascondere la parte più esposta a radar e infrarossi, significa diminuire la probabilità di ingaggio con missili di difesa

³⁰ Bill Sweetman, *Stealth Bomber: Invisible Warplane* (St. Paul, MN: Zenith Press, 1991)

³¹ U.S. Air Force, "B-2 Spirit Fact Sheet.

³² U.S. Air Force, "B-2 Spirit Fact Sheet.

moderni con sensori a infrarossi e tracciamenti integrati. la capacità di penetrazione del B-2 deriva quindi da una moltitudine di elementi che lavorano simultaneamente, e non da una singola “invisibilità”.

4.7 Navigazione, sensoristica e mission planning (elementi non-classificati)

la ricerca evidenzia che la sostenibilità operativa e la gestione delle missioni dipendono anche dall'avionica e da sistemi di comunicazione avanzate: un equipaggio ridotto, sistemi digitalizzati, comunicazioni satellitari sicure A to B e un'impostazione ergonomica per i piloti facilitando la vita a bordo per missioni globali di lunga durata.

Questi elementi non sono solo dettagli: rendono plausibile l'utilizzo del B-2 come uno strumento di potenza a lungo raggio senza il bisogno di una base militare vicina, coerente con la dottrina descritta precedentemente. Questo permette di avere flessibilità costante e ridurre le dipendenze diplomatiche.

In chiave strategica, la sensoristica avanzata e la pianificazione della missione costituiscono parte integrante del valore aggiunto della piattaforma. Esse non rappresentano soltanto un supporto tecnico, ma incidono direttamente sulla qualità dell'azione militare. In particolare, aumentano l'affidabilità e la precisione in scenari ad alto rischio, dove l'accuratezza dell'informazione e la capacità di adattamento in tempo reale possono risultare decisive. Inoltre, riducono la necessità di una presenza permanente all'interno di Paesi caratterizzati da elevata tensione, consentendo di proiettare capacità operative anche a distanza, senza un dispiegamento continuativo sul territorio. Infine, rendono possibile l'impiego di una forza più discreta, che pur potendo essere percepita come più opaca, amplia il margine di flessibilità politica e operativa nelle situazioni di crisi.

4.8 Armamento e integrazione: stive interne, versatilità e vincoli LO

Lo studio definisce il B-2 come piattaforma “dual capable”, in grado di svolgere missioni nucleari e convenzionali, con una capacità di carico indicata fino a 23 tonnellate. Tra gli armamenti citati rientrano bombe nucleari (B61 e B83), munizionamento di precisione come JDAM e ordigni penetranti come la GBU-57 Massive Ordnance Penetrator utilizzato recentemente il 22 giugno 2025 per attaccare siti nucleari iraniani.

Sul piano di bassa visibilità, il punto decisivo è l'integrazione dell'armamento in modo da non degradare la furtività: l'architettura del b-2 stealth è stata costruita in modo tale che gli armamenti siano ospitati nelle stive e che la geometria esterna resti “pulita”. Ne discende un'implicazione rilevante: la furtività non rappresenta soltanto un vantaggio operativo, ma impone anche specifici vincoli progettuali che condizionano l'evoluzione della piattaforma nel tempo.

Tali vincoli incidono, in primo luogo, sulle modalità di aggiornamento degli armamenti, poiché ogni integrazione o modifica deve essere compatibile con i requisiti di bassa osservabilità. In secondo luogo, influenzano le procedure di gestione e manutenzione, che risultano più complesse e richiedono standard particolarmente rigorosi per preservare le caratteristiche stealth. Infine, pongono un problema di compatibilità tra l'evoluzione delle munizioni e l'architettura stealth, rendendo necessario un costante equilibrio tra innovazione tecnologica e coerenza strutturale del sistema.

Questa tensione tra versatilità e vincoli della sua caratteristica principale della furtività è parte della valutazione di necessità di una piattaforma unica, e visto che l'adattamento ad armamenti di nuove generazioni richiede costi e tempi elevati, la sua convenienza tecnologica potrebbe ridursi nel breve

periodo, è anche per questo che una nuova versione del B-2 chiamata B-21 raider è in costruzione, nel lungo periodo creare una nuova tecnologia dello stesso velivolo potrebbe avere dei benefici economici rispetto ad un costante adattamento di una vecchia tecnologia³³.

4.9 Costruzione e struttura del B-2

4.9.1 Architettura strutturale dell'ala volante e distribuzione dei carichi

L'ala volante impone una logica strutturale profondamente diversa rispetto ai velivoli tradizionali dotati di fusoliera e piani di coda. In una configurazione di questo tipo, la portanza e i carichi aerodinamici non si concentrano su elementi distinti, ma si distribuiscono lungo un'unica e ampia superficie alare, che diventa al tempo stesso struttura portante e corpo principale del velivolo.

Ciò richiede, in primo luogo, una notevole robustezza alle sollecitazioni flessionali lungo l'intera apertura alare, poiché le forze generate in volo devono essere assorbite e ridistribuite senza compromettere l'integrità strutturale. In secondo luogo, è necessaria una significativa rigidità torsionale, indispensabile per mantenere stabilità e controllo in assenza di superfici verticali tradizionali. Infine, la configurazione deve consentire l'integrazione interna di vani per armi, motori e sistemi, evitando l'introduzione di discontinuità esterne che potrebbero degradare le caratteristiche di furtività e aumentare la tracciabilità radar del velivolo.

la ricerca non entra in dettagli ingegneristici per via di documenti classificati, ma fornisce il vincolo politico-tecnico fondamentale: la progettazione mira a ridurre al massimo discontinuità esterne e superfici verticali. Per questo motivo la struttura è stata progettata in modo tale da dovere assorbire internamente funzioni che in altri velivoli sarebbero stati separati dalla fusoliera

4.9.2 Pannellatura, giunzioni e tolleranze: furtività nei dettagli

Un elemento strutturale strettamente connesso alla furtività è rappresentato dalla riduzione delle giunzioni e delle superfici sporgenti. La ricerca evidenzia come componenti, prese d'aria e pannelli di accesso siano progettati per essere il più possibile integrati nella struttura complessiva, così da eliminare punti deboli che potrebbero riflettere segnali radar e infrarossi, compromettendo la bassa osservabilità.

Da questa impostazione progettuale derivano precise esigenze costruttive. In primo luogo, l'impiego di pannelli ampi e superfici continue, capaci di limitare interruzioni e discontinuità. In secondo luogo, la necessità di allineamenti e finiture estremamente accurati, poiché anche minime imperfezioni possono incidere sulla firma radar. Infine, l'adozione di trattamenti superficiali e sigillature idonei a preservare nel tempo la geometria a bassa visibilità, evitando che usura e degrado compromettano le caratteristiche stealth della piattaforma.

³³ Congressional Research Service (CRS), *U.S. Strategic Bombers*, In Focus IF12945 (Washington, DC: Congressional Research Service, 6 January 2026).

In un velivolo stealth, le tolleranze costruttive non sono solo una questione di qualità industriale: diventano una componente della capacità operativa, perché micro-difetti e discontinuità possono aumentare la riflettività radar.

4.9.3 Integrazione di vani d'arma e impianti: vincoli progettuali e manutentivi

La furtività, come già mostrato, richiede gli armamenti e sottosistemi siano integrati mantenendo pulizia esterna. la ricerca evidenzia come l'armamento includa munizionamento pesante e specifico in base alla missione, implicando vani e meccanismi interni importanti.

Questo aspetto è cruciale per l'utilizzo di questo velivolo: la struttura non è solo lo scheletro, ma anche un'infrastruttura interna per ospitare funzioni complesse senza esporle all'esterno. Il risultato è l'aumento della complessità manutentiva, poiché l'accesso ai componenti deve avvenire tramite pannelli e aperture che una volta richiusi, devono ripristinare perfettamente le proprietà fondamentali di bassa visibilità.

4.9.4 Produzione e assemblaggio: implicazioni industriali (open source)

la ricerca lega i costi elevati non solo alla ricerca e sviluppo, ma anche alla produzione limitata e alla necessità di segretezza, con effetto sul costo unitario e sulla sostenibilità industriale del programma. In termini di economia politica della difesa, queste caratteristiche strutturali e tecnologiche comportano conseguenze rilevanti sul piano industriale e finanziario. L'assemblaggio di una piattaforma stealth di questo tipo tende, in primo luogo, a richiedere competenze altamente specializzate e filiere produttive altrettanto specializzate, con un numero ristretto di attori in grado di rispettare gli standard tecnici richiesti. In secondo luogo, la produzione limitata a 21 esemplari riduce sensibilmente le economie di scala, incidendo sul costo unitario e sulla distribuzione degli investimenti iniziali. L'assenza di una produzione ampia e continuativa rende più difficile ammortizzare i costi di ricerca, sviluppo e infrastrutture industriali. Infine, aumenta l'impatto di qualsiasi modifica o aggiornamento. Ogni intervento deve infatti rispettare rigorosi standard di bassa visibilità e comporta la certificazione di ciascun componente aggiornato, con effetti diretti su tempi, costi e complessità amministrativa del programma.

4.9.5 Struttura e sostenibilità della tecnologia stealth: la manutenzione come estensione della produzione

I fascicoli di manutenzione dei materiali RAM sono estremamente rigorosi, poiché abrasioni e crepe comprometterebbero la furtività, imponendo controlli e interventi specializzati. Indica, inoltre, gli ordini di grandezza che rendono evidente la natura sistemica del lavoro di circa 60 ore di manutenzione per ogni ora di volo, e costi operativi molto elevati, in parte legati alla necessità di mantenere i rivestimenti stealth in condizioni ottimali³⁴.

Da queste ricerche si potrebbe fissare una conclusione tecnica con implicazione strategica: nel B-2, la manutenzione è parte della capacità. Non è un costo esterno, ma un requisito per mantenere il vantaggio della furtività e quindi la credibilità della deterrente.

In definitiva, il B-2 produce un vantaggio operativo e strategico potenzialmente decisivo in ambienti altamente difesi, ma lo fa mediante una forma di potere tecnologico che è inseparabile dal

³⁴ Government Accountability Office (GAO), *Weapon System Sustainment: Selected Air Force and Navy Aircraft Generally Have Not Met Availability Goals* (Washington, DC: GAO).

suo costo organizzativo e manutentivo. Questa conclusione prepara direttamente il Capitolo 5, dove la questione della necessità verrà affrontata sul terreno della prontezza, delle infrastrutture e della sostenibilità operativa.

Capitolo 5

Sostenibilità operativa: manutenzione, prontezza e limiti “non visibili” del B-2 Spirit

5.1 La sostenibilità operativa come “seconda metà” della supremazia tecnologica

Nei vari dibattiti e documenti di ricerca sul B-2 Spirit, la superiorità tecnologica viene spesso descritto come un dato intrinseco: la piattaforma tecnologica è decisiva per la sua furtività, la sua capacità di eseguire missioni intercontinentali e capace di colpire obiettivi ad alta profondità con un'accuratezza al centimetro. In realtà, nel ciclo di vita di un sistema d'arma di distruzione così avanzato, l'efficacia non coincide soltanto con la sola prestazione in volo, ma con la possibilità di avere un sistema ridondante, affidabile e sostenibile nel tempo. La supremazia tecnologica si misura quindi anche su ciò che succede dietro le quinte, come la manutenzione grazie ad un personale altamente specializzato, la gestione e la reperibilità di materiali sensibili e la capacità di rigenerare il velivolo a condizioni perfette senza degradarne le caratteristiche chiave dopo ogni missione³⁵.

In questa prospettiva, il B-2 Spirit rappresenta un caso unico: la tecnologia stealth, che costituisce il suo principale vantaggio, è allo stesso tempo un vincolo strutturale importante alla prontezza operativa, perché richiede degli standard di cura ed ispezione al di fuori del normale rispetto a velivoli militari convenzionali. L'idea dell'invisibilità non è soltanto un attributo ma è una condizione che deve essere preservata attraverso dei controlli rigorosi, ripetuti e interventi ad alta intensità di lavoro. Per questo motivo, la valutazione della deterrenza strategica del B-2 non può essere esente da un'analisi dal punto di vista della sua sostenibilità operativa, intesa come somma di manutenzione, addestramento sia degli equipaggi che del personale di terra, le infrastrutture e i tempi di generazione della sortita.

5.2 Costi di ciclo di vita: dalla produzione alla disponibilità reale

Il programma sul B-2 Spirit, viene descritto come uno dei programmi militari più onerosi nella storia dello sviluppo della difesa militare americana: il costo del programma è stimato oltre i 44 miliardi di dollari, includendo sviluppo, produzione, mantenimento e aggiornamenti nel tempo.

³⁵ Government Accountability Office (GAO), *Weapon System Sustainment: Selected Air Force and Navy Aircraft Generally Have Not Met Availability Goals* (Washington, DC: GAO).

La produzione limitata di 21 esemplari ne ha altamente amplificato il costo unitario, stimato intorno ai 2.1 miliardi di dollari per velivolo. Inoltre, oltre ai costi di produzione, e di manutenzione la spesa che incide di più sono i costi operativi per ora di volo stimati a 135.000 dollari l'ora.

Questa proporzione ha un significato strategico immenso: la deterrenza plasma le decisioni a livello internazionale, non è soltanto una capacità posseduta, ma deve essere finanziata continuamente, e ogni scelta d'impiego si porta dietro una coda logistica e manutentiva che incide sulla pianificazione delle operazioni e sulle priorità di bilancio.

In termini di scienze politiche e degli studi strategici sulla policy di difesa, il tema muta in; quanta prontezza operativa si acquista realmente con un investimento di una portata del genere? una delle risposte potrebbe essere che la deterrenza e la proiezione di potenza dipendono anche dalla credibilità della flotta, su quanti velivoli potrebbero essere dispiegati in tempi utili, non soltanto dalle prestazioni nominali della piattaforma. Un asset si può essere tecnologicamente superiore, ma allo stesso tempo operativamente rigido se l'intensità manutentiva ne riduce la continuità d'impiego o se ne innalza troppo il costo marginale³⁶.

5.3 Manutenzione della furtività: materiali RAM, precisione e controllo qualità

La furtività del B-2 Stealth, non deriva soltanto da un singolo elemento, ma da un'integrazione di soluzioni come la forma curvilinea e assenza di superfici verticali, la riduzione di giunzioni e sporgenze, l'utilizzo di materiali RAM "radar assorbenti" e compositi avanzati.

Dal punto di vista operativo, questa integrazione comporta un requisito fondamentale: la qualità superficiale deve essere preservata con standard elevatissimi, perché qualsiasi imperfezione comprometterebbero il vantaggio stealth.

Le fonti sottolineano che la manutenzione dei materiali RAM richiedono precisione estrema e che ogni singolo velivolo sia sottoposto a controlli rigorosi prima e dopo ogni missione, con tecnici specializzati che ispezionano ogni singolo centimetro del rivestimento³⁷.

Questo è un punto decisivo: la furtività, per quanto strategica, è anche fragile dal punto di vista organizzativo. Richiede processi, competenze, tempi e disponibilità di materiali specifici e certificati ogni volta che vengono prodotti che non possono essere improvvisati in emergenza e che, soprattutto non sono facilmente scalabili su grandi numeri visto il numero limitato di velivoli.

Come visto in molti studi, ne deriva un paradosso tipico dei sistemi ad altissima tecnologia: questo aereo è progettato dove altri non riescono nemmeno ad avvicinarsi, ma è anche dipendente dalla filiera invisibile che ne garantisce l'efficienza. In una valutazione strategica, ciò significa che la superiorità si regge su una linea molto sottile: se una parte della catena si indebolisce, a partire dai fondi che tengono in piedi il programma, il vantaggio può ridursi in modo drastico.

5.4 Generazione della missione: sistemi, equipaggio e vincoli operativi

La sostenibilità non riguarda soltanto la superficie stealth, ma anche la complessità sistemica. Il B-2 è costruito in modo tale da essere in grado di condurre sia missioni nucleari che convenzionali, trasportando fino a 23 tonnellate di armamenti come: bombe nucleari, JDAM e ordigni penetranti

³⁶ Congressional Budget Office (CBO), *Projected Costs of U.S. Nuclear Forces, 2025 to 2034* (Washington, DC: Congressional Budget Office, April 24, 2025), <https://www.cbo.gov/publication/61362>.

³⁷ U.S. Air Force, "B-2 Spirit Fact Sheet

come la GBU-57. Questa scelta di stive interne e integrazione dei carichi contribuisce alla riduzione della visibilità radar, ma aumenta l'attenzione in fase di configurazione strategica della missione, come carichi, sistemi di guida, pianificazione, verifiche di compatibilità e sicurezza³⁸.

Un ulteriore fattore di sostenibilità è la gestione dell'equipaggio nelle missioni di lunga durata. il cockpit è progettato per missioni spesso oltre le 40 dovendo per la maggior parte attraversare l'atlantico, con una configurazione che include zona di riposo, toilette e spazio per i pasti.

Questi elementi, apparentemente secondari, rientrano invece nella logica della proiezione globale. Se la missione richiede di colpire a distanza intercontinentale, la piattaforma deve reggere fisicamente e cognitivamente tempi di volo estremi senza degradare la sicurezza e l'efficacia operativa.

la sostenibilità della missione dipende anche dal fattore umano e quello procedurale: la tecnologia aiuta a ridurre il rischio per l'attaccante e facilita le operazioni a distanza, ma impone una gestione molto sofisticata dei cicli di missioni in termini di preparazione, esecuzione, rientro e ripristino della struttura come detto prima, il che incide su tempi e costi complessivi. questo si collega al tema politico della soglia d'impiego dove avere asset più sicuri per il proprio persone possono rendere più praticabile l'uso della forza, ma soltanto se la macchina organizzativa è finanziabile e resta efficiente.

5.5 Autonomia strategica e dipendenze nascoste: rifornimento, basi e vincoli logistici

La tesi arrivato a questo punto come il B-2 incarna la dottrina della proiezione di potenza, con la possibilità di colpire bersagli in qualsiasi parte del mondo senza la necessità di basi americane vicine ai teatri di guerra, grazie alla capacità di rifornimento in volo. Questa caratteristica ha un impatto politico chiaro: riduce la dipendenza da autorizzazioni e vincoli diplomatici legati a basi straniere, aumentando la libertà d'azione e la rapidità decisionale.

Ma l'autonomia geografica non elimina le dipendenze, le sposta. l'assenza di basi avanzate come quelle certificate può aumentare la centralità di altri abilitatori. In altre parole, la sostenibilità operativa del B-2 è parte integrante della sua autonomia strategica: se la piattaforma rimane credibile, la politica estera è riuscita a disporre di uno strumento di pressione e deterrenza più flessibile. Anche se il progetto B-2 è costosa da rigenerare o lentamente disponibile, l'autonomia rischia di trasformarsi in un potenziale effetto collo di bottiglia³⁹.

Questo si nota anche nell'uso dimostrativo della capacità strategica: la deterrenza non si fonda soltanto sulla segretezza ma soprattutto sulla percezione che lo strumento sia pronto e impeccabile in qualsiasi momento di necessità. La tesi cerca di insistere sul valore del B-2 come un segnale politico e strategico e sulla sua funzione nel rafforzare la posizione diplomatica americana, proprio perché mostra la supremazia tecnologica credibile, ma sempre guardando l'altro lato della medaglia, stando sempre attenti al mantenimento della supremazia.

³⁸ Congressional Research Service (CRS), *U.S. Strategic Bombers*, In Focus IF12945 (Washington, DC: Congressional Research Service, 6 January 2026)

³⁹ Government Accountability Office (GAO), *Defense Logistics: Actions Needed to Improve Oversight and Accountability* (Washington, DC: GAO).

CAPITOLO 6

Economia politica del B-2: costi, industria e scala

6.1 Tipologie di costo: *program cost*, costo unitario e costi operativi (*O&S/life-cycle*)

La valutazione complessiva del B-2 Spirit come un asset Necessario. Non può prescindere da un'analisi economico politica di un del programma. Nelle grandi piattaforme strategiche, La spesa non si ferma soltanto al costo di acquisizione: si distribuisce lungo l'intero ciclo di vita, includendo la ricerca, lo sviluppo, la produzione, la costruzione delle infrastrutture dedicate, gli aggiornamenti e costi operativi d'esercizio e di manutenzione.

Nella tesi emerge con chiarezza che il B-2 è un programma ad altissimo bisogno di finanziamenti costanti: come detto in precedenza nella tesi il costo complessivo viene indicato oltre i 44 miliardi di dollari, comprendendo sviluppi, produzione, manutenzioni e aggiornamenti.

La natura del velivolo, basata su architettura e tecnologia stealth complessa e su materiali e procedure specializzate, rendono i costi una componente determinante dell'effettivo valore strategico del programma. In particolare, la ricerca riporta ordini di grandezze che incidono direttamente sulla policy: circa 60 ore di manutenzione per ogni ora di volo e un costo operativo superiore ai 135.000 dollari l'ora.

Questo introduce un punto analitico cruciale: un sistema di distruzione può essere tecnologicamente superiore ma politicamente controverso se il suo costo di esercizio produce uno scompenso di bilancio, limitando la scalabilità e vincolando la politica della difesa a un numero ristretto di capacità d'élite. Quindi l'economia politica del B-2 non è un capitolo contabile, ma è una parte integrante della domanda di ricerca, poiché incide sulla sostenibilità e sulla credibilità operativa della capacità del medio lungo periodo⁴⁰.

6.2 *Small fleet problem*: costo unitario, resilienza e criticità di scala

⁴⁰ Jacques S. Gansler, *Defense Conversion: Transforming the Arsenal of Democracy* (Cambridge, MA: MIT Press, 1995)

Il B-2 Rappresenta un caso pragmatico del problema della piccola flotta: una flotta numericamente limitata che può essere altamente performante ma più vulnerabile sul piano della resilienza strategica. La tesi infatti evidenzia che gli esemplari prodotti sono stati solo 21 e ad oggi ne sono rimasti soltanto 20 poiché un velivolo si schiantò nel 2008 poco dopo il decollo e che tale numero ridotto ha amplificato il costo unitario stimato intorno a 2,1 miliardi di dollari per velivolo.

Dal punto di vista della scala industriale, la produzione limitata riduce drasticamente l'economia di scala e aumenta la rarità di componenti e di competenze; inoltre, una flotta così piccola rende il progetto più sensibile a shock e vincoli. La perdita o l'indisponibilità di pochi esemplari può incidere in modo sproporzionato sulla strategia d'utilizzo, mentre l'intensità manutentiva riduce l'elasticità della generazione di sortite. L'aggiornamento tecnologico diventa inoltre sempre più costoso perché deve essere integrato su un numero minimo di velivoli, spesso con tempi lunghi e con standard rigorosi, inclusa la certificazione su ogni pezzo per non degradare la bassa osservabilità. In termini sempre di necessità, questo significa che il velivolo può risultare strategicamente decisivo in specifici scenari, ma il prezzo di una capacità poco scalabile e quindi potenzialmente meno adatta a garantire una presenza continua su più teatri contemporaneamente⁴¹.

6.3 Modernizzazione e upgrade: costi della credibilità nel tempo

l'economia politica del B-2 non riguarda soltanto la produzione: riguardo a tutto ciò che c'è attorno quando il velivolo è operativo. È un asset stealth, che compete in un ambiente dinamico in cui gli avversari continuano a sviluppare contromisure di nuova generazione virgola e ne deriva una esigenza strutturale di aggiornamento per rimanere sempre un passo avanti al nemico come: aggiornamenti di avionica virgola di sistemi di comunicazioni virgola di sistemi di pianificazione e missione, l'integrazione di munizionamento di precisione e adattamenti tecnici per preservare la bassa osservabilità⁴².

Come si evidenziato qualche capitolo prima l'architettura stealth impone standard estremamente elevati di cura del rivestimento delle superfici quindi Ogni piccolo difetto potrebbero compromettere la furtività e potrebbero richiedere interventi specialistici. Questo elemento, potrebbe implicare che la modernizzazione del B-2 non è un ciclo ordinario di miglioramento, monopolistica permanente dove la moderna mento tecnico è inseparabile dal ripristino delle condizioni di bassa osservabilità.

In conclusione, la supremazia del B-2 richiede spese ricorrenti per rimanere tale, senza un investimento continuo, la capacità caratterizzante di questo velivolo rischia di scivolare da un asset prestigioso ha un asset meno competitivo.

6.4 Confronto costo-efficacia: *penetrating strike* vs *standoff*

Per valutare la necessità del B-2, occorre confrontare il rendimento strategico con alternative funzionali virgola in particolare il valore distintivo del B-2 e la sua capacità di *penetrating strike* in ambienti densamente difesi, ed è un vantaggio che lo differenzia da qualsiasi altra piattaforma e da

⁴¹ Paul Pierson, "Increasing Returns, Path Dependence, and the Study of Politics," *American Political Science Review* 94, no. 2 (2000): 251–267

⁴² Congressional Budget Office (CBO), *Projected Costs of U.S. Nuclear Forces, 2025 to 2034* (Washington, DC: Congressional Budget Office, April 24, 2025).

dottrine basate prevalentemente su attacchi di missili e munizioni lanciate da distanze di sicurezza “standoff”⁴³.

Il confronto costo e efficacia, non produce un esito univoco perché dipende dallo scenario e in condizioni di difesa avversaria meno sofisticata l'impiego di una capacità meno costosa potrebbe produrre risultati compatibili con minori rischi di perdita di asset così importanti e una minore esposizione finanziaria. Al contrario, in scenari ad alta intensità, il costo di non avere una capacità di penetrazione come il B-2 potrebbe essere politicamente e strategicamente più elevato del costo della piattaforma con conseguenza di mancanza di opzioni credibili che riducono la deterrenza, flessibilità e capacità di colpire nodi critici protetti.

6.5 *Procurement politics* e incentivi industriali: lock-in, segretezza e struttura degli interessi

L'economia politica di un programma come il B-2 è inseparabile dal modo in cui viene prodotto e governato. La tesi evidenzia il ruolo della segretezza e la centralità di un'industria altamente specializzata. In termini di procurement politics, questo genera tre effetti. Il primo è il lock-in tecnologico e organizzativo: una volta sviluppata una piattaforma stealth così complessa, l'intero ecosistema tende a stabilizzarsi attorno al programma⁴⁴. Ridimensionare o sostituire rapidamente la capacità diventa difficile, non solo per motivi tecnici, ma anche per via dei costi di transizione, della perdita di competenze e delle resistenze istituzionali. Il secondo effetto è l'asimmetria informativa e il controllo politico: la segretezza, pur giustificabile in termini di sicurezza, riduce la possibilità di scrutinio pubblico e parlamentare in tempo reale. Ciò può amplificare i rischi tipici dei grandi programmi e rende più complessa una valutazione trasparente del rapporto costi e benefici. Il terzo riguarda la struttura degli interessi e il consenso: i programmi ad altissimo valore simbolico e industriale tendono a creare coalizioni di sostegno⁴⁵. Queste coalizioni possono essere decisive nel mantenere finanziamenti e continuità programmatica, anche quando la discussione pubblica mette in evidenza le priorità domestiche o alternative militari meno dispendiose. La ricerca richiama esplicitamente come l'elevato costo abbia generato controversie interne sulla spesa e sull'allocazione di risorse rispetto ad altre tecnologie.

⁴³ Government Accountability Office (GAO), *Defense Acquisitions: Assessments of Selected Weapon Programs* (Washington, DC: GAO).

⁴⁴ Paul Pierson, “Increasing Returns, Path Dependence, and the Study of Politics,” *American Political Science Review* 94, no. 2 (2000).

⁴⁵ Lawrence Freedman, *The Evolution of Nuclear Strategy*, 3rd ed. (London: Palgrave Macmillan, 2003).

CAPITOLO 7

Dottrina e impiego operativo

7.1 Ruolo nella deterrenza nucleare e posture strategiche

Il B-2 Spirit nasce come piattaforma pensata in primo luogo per la deterrenza nucleare, un bombardiere capace di penetrare difese avanzate e colpire obiettivi strategici in alta profondità, mantenendo la credibilità del “second strike” anche in presenza di sistemi di difesa aerea integrati⁴⁶. A te si evidenzia che il velivolo è stato progettato per trasportare armamenti nucleari e che, per questa ragione, svolge un ruolo nella triade e statunitense come una componente aerea flessibile e richiamabile, che si distingue per la natura delle sue componenti balistiche.

Ciò significa che il B-2 contribuisce alla deterrenza non solo con la sua capacità di distruzione, ma anche con la possibilità di offrire opzioni politiche graduabili. La deterrenza di questa tecnologia, infatti, dipende anche dalla percezione che esista un ventaglio di risposte credibili e controllabili. Bombardiere strategico può essere dispiegato, mantenuto in prontezza consentendo una gestione più fine dell'escalation e Questa flessibilità è uno dei motivi per cui la componente aerea della triade continua ad essere considerata rilevante anche dopo la guerra fredda.

Tuttavia, la deterrenza odierna non è più quella del confronto bipolare. Dopo il 1991, Il sistema della deterrenza nucleare coesiste con scenari di crisi regionali, di proliferazione e competizione tra le grandi potenze. In questo contesto, la funzione del B-2 si è progressivamente estesa, nel senso che la piattaforma non viene più interpretata solo come un vettore nucleare, ma come un asset capace di sostenere posizioni strategiche multiple e di produrre effetti politici attraverso la presenza e il dispiegamento.

7.2 Ruolo convenzionale: “first nights/first days” e strike in profondità

La principale trasformazione dottrinale del B-2 riguarda l’impiego convenzionale. Dopo la dissoluzione dell’URSS, il B-2 ha visto espandere il proprio ruolo verso attacchi di precisione

⁴⁶ Congressional Research Service (CRS), *U.S. Strategic Bombers*, In Focus IF12945 (Washington, DC: Congressional Research Service, 6 January 2026).

convenzionali, diventando parte di strategie di neutralizzazione di obiettivi ad alto valore e di soppressione delle difese.

In questo contesto, la formula “first nights/first days” sintetizza una logica operativa: nelle prime fasi di un conflitto, quando l’avversario conserva intatte le difese e la capacità di negare l’accesso, piattaforme stealth possono colpire i nodi critici come radar, comandi, infrastrutture di comunicazione, depositi riuscendo ad aprire varchi per l’ingresso di ulteriori forze⁴⁷. Il B-2, grazie a stive interne e bassa osservabilità, è pensato per eseguire strike in profondità senza dover prima distruggere interamente i sistemi integrati di difesa aerea dell’avversario.

La dottrina convenzionale si lega anche alla precisione: la tesi indica la capacità di impiegare sistemi in grado di trasformare bombe a caduta libera in bombe guidate e sistemi GPS-assistiti, sottolineando che il passaggio alla precisione aumenta l’utilità politica della piattaforma, perché consente di colpire obiettivi selettivi riducendo danni collaterali.

7.3 Impieghi operativi: pattern e lezioni (1999–2011)

Nell’analisi delle operazioni effettivamente condotte, La tesi richiama quattro snodi operativi principali che definiscono un pattern ricorrente: impiego selettivo, alto valore politico e integrazione in pacchetti complessi.

Kosovo (1999). Il B-2 viene impiegato nella campagna NATO contro la Jugoslavia per colpire obiettivi strategici e infrastrutture critiche. La ricerca evidenzia missioni lunghe, condotte a grande distanza, che mostrano la capacità del B-2 di proiettare potenza senza dipendere necessariamente da basi avanzate e di operare in ambienti in cui la difesa aerea richiede prudenza nella scelta delle piattaforme⁴⁸.

Afghanistan (2001). Nei primi giorni di Enduring Freedom, il B-2 viene impiegato per colpire obiettivi ad alto valore, confermando la possibilità di impiego in contesti post-9/11 e mostrando come la piattaforma possa essere adattata a scenari diversi da quello originario della Guerra Fredda⁴⁹.

Libia (2011). L’uso in Odyssey Dawn, secondo quanto riportato, evidenzia una funzione di neutralizzazione di radar e difese, contribuendo a creare una finestra operativa per ulteriori azioni⁵⁰.

Iran (2025). L’impiego del B-2 in operazioni contro obiettivi iraniani si inserisce nello stesso pattern operativo già osservato: missioni a lunghissimo raggio, alto valore politico-strategico e selezione di target sensibili, quali infrastrutture militari o nodi critici. In tale contesto, il bombardiere stealth assume una funzione di segnale strategico oltre che operativo: la capacità di penetrare spazi aerei difesi senza preavviso visibile rafforza la deterrenza e dimostra la credibilità della proiezione di forza.

⁴⁷ Benjamin S. Lambeth, *NATO’s Air War for Kosovo: A Strategic and Operational Assessment* (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2001).

⁴⁸ Benjamin S. Lambeth, *NATO’s Air War for Kosovo* (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2001).

⁴⁹ Benjamin S. Lambeth, *Air Power Against Terror: America’s Conduct of Operation Enduring Freedom* (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2005).

⁵⁰ U.S. Department of Defense, *Operation Odyssey Dawn Briefings*, 2011.

Il pattern che emerge è coerente con una capacità di punta: il B-2 viene impiegato quando l'obiettivo politico richiede un effetto rapido e simbolicamente forte e quando l'ambiente difensivo rende rischioso o inefficiente l'impiego di piattaforme convenzionali.

7.4 Il B-2 come parte di un pacchetto complesso: ISR, tanker, EW e pianificazione

Una delle illusioni più frequenti nel discorso pubblico è immaginare lo stealth come autonomo, in realtà, la tesi mostra come il B-2 è parte di un ecosistema operativo. Il raggio globale è spesso reso possibile dal rifornimento in volo grazie a tanker posizionati in modi strategici lungo i percorsi delle missioni che rendono possibili molteplici rifornimenti aerei, mentre la selezione di obiettivi e la pianificazione missione richiedono intelligence, sorveglianza e ricognizione, nonché una catena di comando in grado di integrare piattaforme e munizioni di precisione.

Questa integrazione ha implicazioni politiche cioè la capacità di colpire ovunque che esiste soltanto se esiste una rete di supporto di tanker pensati come stazioni di rifornimento aereo, comunicazioni sicure, procedure di mission planning, e personale altamente specializzato che può a sua volta essere vulnerabile a vincoli logistici, ad attriti burocratici e a dipendenze geopolitiche. Il B-2, quindi, non è solo un velivolo ma è un nodo in una catena di potere che deve essere sostenuta e protetta, poiché se soltanto uno di questi nodi non dovesse essere alla sua massima efficienza, il programma potrebbe essere fallimentare⁵¹.

Da ciò deriva una conclusione intermedia dove la necessità del B-2 dipende anche dalla necessità dell'infrastruttura che lo rende impiegabile. E questo elemento sarà rilevante nella parte finale della tesi quando si discuteranno alternative: capacità di standoff o piattaforme distribuite che potrebbero ridurre alcune dipendenze, ma possono anche perdere la specificità del penetrating strike, una delle caratteristiche principali del B-2.

7.5 Valutazione operativa: effetti strategici, limiti e condizioni di successo

L'impiego operativo del B-2 consente di chiarire quali effetti strategici esso produce realmente e in quali condizioni. La tesi dimostra come il B-2 offre vantaggi distintivi, tra cui la capacità di penetrazione in ambienti difesi, la precisione e la flessibilità convenzionale, il valore di deterrenza e signaling, nonché la proiezione globale con minore dipendenza da basi vicine al teatro. Allo stesso tempo, i limiti sono altrettanto chiari, perché il costo elevato e la manutenzione complessa riducono scalabilità e continuità d'impiego. Inoltre, l'utilità strategica può essere maggiore nelle fasi iniziali di un conflitto ad alta intensità rispetto a campagne prolungate o contesti asimmetrici, dove l'effetto politico di uno strike può non tradursi in risultati duraturi. Su questo punto la ricerca richiama le critiche secondo cui i conflitti moderni, soprattutto contro attori non statali, non si risolvono necessariamente con la superiorità tecnologica e con l'attacco a infrastrutture strategiche.

Ne deriva quindi, che la condizione di successo del B-2 è soltanto selettiva perché funziona al massimo rendimento soltanto quando l'obiettivo è chiaramente definito, ad alto valore, e quando l'ambiente difensivo rende la penetrazione l'opzione più credibile ma soprattutto manda un messaggio chiaro all'avversario⁵². Al contrario, se la finalità politica richiede controllo territoriale prolungato o una trasformazione istituzionale, l'effetto dello strike stealth tende a essere necessario ma non abbastanza sufficiente.

⁵¹ Congressional Research Service (CRS), *Air Force Bomber Modernization* (Washington, DC: Congressional Research Service).

⁵² Robert Jervis, *The Meaning of the Nuclear Revolution* (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1989).

7.6 Alternative funzionali: standoff, triade, piattaforme distribuite e transizione verso B-21

L'analisi non può chiudersi senza affrontare le alternative funzionali, perché la necessità andrebbe valutata anche rispetto al costo-opportunità. La tesi dimostra l'esistenza di opzioni diverse come droni avanzati a comando remoto, difese missilistiche e tecnologie più economiche che potrebbero sostituire parte delle funzioni del B-2, e del rischio umano.

Allo stesso tempo, lo sviluppo del B-21 Raider indica che la potenza strategica statunitense non abbandona l'idea di un bombardiere stealth, ma cerca di renderla più sostenibile e scalabile. Il B-21 viene descritto come progettato per essere più economico e più facile da mantenere, con l'obiettivo di costruire una flotta più ampia e più resiliente, e meno dispendioso rispetto ad un continuo adattamento di una vecchia tecnologia.

Questo elemento è decisivo con la domanda della tesi perché la scelta di sviluppare un erede stealth suggerisce che la capacità di penetrazione è considerata strategicamente importante, ma il fatto che l'erede è pensato per costare meno e per essere prodotto in numero maggiore suggerisce anche un riconoscimento implicito dei limiti dell'economia politica del B-2.

Analizzandolo il B-2 può essere interpretato come una capacità di transizione tra due epoche perché ha reso possibile la penetrazione stealth su scala strategica, ma la sua forma di organizzazione industriale e di sostentamento ha mostrato i limiti di una supremazia tecnologica considerevole estrema e non facilmente scalabile.

CAPITOLO 8

Impatto geopolitico, contromisure ed escalation

8.1 Deterrenza estesa, alleanze e rassicurazioni

Il B-2 Spirit non è soltanto una piattaforma militare: è anche un dispositivo di potere politico, perché rende credibile la capacità statunitense di colpire obiettivi sensibili in profondità e, di conseguenza, influenza il comportamento di avversari e alleati. In questa dimensione, la sua funzione va letta come parte della **deterrenza estesa**: la promessa, implicita o esplicita, che gli Stati Uniti siano disposti e in grado di difendere partner e alleati contro minacce gravi, anche in contesti caratterizzati da difese aeree avanzate e capacità di negazione d'area⁵³.

La deterrenza estesa ha un problema strutturale: la **credibilità**. Gli alleati chiedono rassicurazioni tangibili, mentre gli avversari cercano segnali di esitazione o limiti operativi. In questo quadro, asset rari e ad alto valore simbolico come il B-2 svolgono una funzione comunicativa: la possibilità di dispiegamento o impiego segnala che la “promessa” statunitense non si riduce a dichiarazioni politiche, ma poggia su capacità concrete e difficili da neutralizzare.

Tuttavia, la rassicurazione non è un effetto automatico: dipende da come viene integrata nella strategia complessiva. Un impiego troppo frequente o troppo spettacolare può alimentare contro-narrazioni, mentre un profilo eccessivamente opaco può indebolire la funzione rassicurante, perché la segretezza riduce la visibilità del segnale. La politica delle alleanze, quindi, richiede una gestione calibrata del “messaggio” che il B-2 invia: sufficiente a rassicurare, ma non tale da incentivare escalation o reazioni eccessive.

8.2 Adattamento avversario: IADS, ridondanza, *inganno* e dispersione

Ogni innovazione militare di grande impatto produce un ciclo di adattamento. Nel caso del B-2, la bassa osservabilità rende più difficile completare la “kill chain” difensiva, cioè scoperta → tracciamento → ingaggio, ma non elimina l'interesse dell'avversario a reagire. L'effetto geopolitico più stabile dello stealth, in prospettiva, è proprio la spinta a investire in contromisure, non solo tecniche, ma anche organizzative e dottrinali. Le contromisure possono essere ricondotte a quattro famiglie principali. La prima è il rafforzamento dell'IADS: maggiore integrazione tra sensori e sistemi di ingaggio, ridondanza di radar su diverse bande, network di difesa stratificata, procedure di ingaggio più rapide e resilienti⁵⁴. Qui l'obiettivo non è “vedere sempre” lo stealth, ma aumentare la probabilità di intercettazione creando più opportunità di scoperta e tracciamento lungo la rotta. La seconda è la ridondanza e la difficoltà degli obiettivi: lo stealth è particolarmente utile contro bersagli ad alto valore; la risposta è rendere tali bersagli più difficili da neutralizzare con un singolo strike attraverso dispersione geografica, duplicazione di infrastrutture critiche, fortificazione, interrimento, sistemi di continuità operativa e ripristino rapido. La terza è la deception e la saturazione: un difensore può sfruttare falsi bersagli, emissioni controllate, radar “esca” e misure di camouflaging per aumentare l'incertezza dell'attaccante, costringendolo a consumare

⁵³ Lawrence Freedman, *Deterrence* (Cambridge: Polity Press, 2004).

⁵⁴ Congressional Research Service (CRS), *Air and Missile Defense: Integrated Air Defense Systems (IADS)* (Washington, DC: Congressional Research Service).

munizionamento su obiettivi di basso valore o a esporre pattern operativi. In ambienti A2/AD, la deception diventa una forma di “difesa economica”, far spendere risorse pregiate all’attaccante. La quarta è la dispersione e la mobilità: la precisione e la furtività premiano l’attacco ai nodi critici; la risposta è rendere quei nodi più mobili. Anche quando la tecnologia stealth mantiene vantaggio, la mobilità e la dispersione riducono la “decisività” del singolo colpo.

Il punto politologico è che il B-2 contribuisce a modellare il comportamento degli avversari anche senza volare: induce investimenti difensivi e strategie di resilienza che, nel lungo periodo, possono ridurre la finestra di superiorità. Questo meccanismo è tipico delle competizioni strategiche: la supremazia non è una fotografia, ma un film in cui ogni vantaggio genera risposta.

8.3 Stabilità strategica ed escalation: ambiguità, percezione errata e rischio di crisi

L’impatto geopolitico del B-2 non si esaurisce nella deterrenza: riguarda anche la stabilità strategica, cioè la capacità del sistema internazionale di evitare crisi incontrollate e escalation rapide. Qui emergono tre rischi strutturali.

Primo rischio: ambiguità convenzionale-nucleare. Il B-2 è una piattaforma dual-capable. Questa caratteristica è un vantaggio per la flessibilità strategica, ma aumenta il rischio di misperception: in una crisi, un avversario potrebbe interpretare un dispiegamento o una missione convenzionale come preparazione a un impiego nucleare, soprattutto se le informazioni sono incomplete o se la segretezza è elevata. L’ambiguità può rafforzare deterrenza, ma può anche indebolire la stabilità se induce reazioni preventive.

Secondo rischio: compressione dei tempi decisionali. Le capacità di penetrazione e strike rapido possono ridurre la “finestra” per valutazioni e comunicazioni in crisi. Se un attore teme di poter essere colpito in profondità senza preavviso, può adottare posture più nervose (*use-it-or-lose-it*), alzando la probabilità di escalation non intenzionale.

Terzo rischio: incentivi al first strike percepito. Lo stealth, specialmente contro infrastrutture critiche (comandi, comunicazioni, radar), può essere percepito come facilitazione di un attacco di decapitazione o di paralisi. Anche se la dottrina statunitense non lo dichiara in questi termini, l’avversario potrebbe internalizzare questa possibilità, irrigidendo le proprie posture e favorendo una corsa a contromisure, ridondanze e capacità di risposta automatizzata.

Questi rischi non implicano che lo stealth sia “destabilizzante” per natura; implicano che il suo impatto dipende dal contesto politico e dottrinale: chiarezza dei segnali, canali di comunicazione, posture di crisi e capacità di gestione dell’escalation. Per questo, la valutazione della “necessità” del B-2 non può limitarsi al vantaggio operativo: deve includere il costo sistemico in termini di stabilità e rischio.

8.4 Counter-stealth: evoluzione tecnologica e riduzione del vantaggio

L’evoluzione delle contromisure “counter-stealth” costituisce il principale fattore di erosione del vantaggio nel tempo⁵⁵. Anche qui, l’analisi va tenuta su un livello realistico: non si tratta di stabilire se lo stealth “funzioni” o “non funzioni”, ma come cambia la probabilità di scoperta e ingaggio con l’introduzione di nuove tecnologie.

⁵⁵ Kenneth N. Waltz, *Theory of International Politics* (New York: McGraw-Hill, 1979).

Le tendenze principali possono essere sintetizzate nel seguente modo. I sensori multibanda e la data fusion si basano sulla combinazione di radar su diverse frequenze, sensori infrarossi e passivi, insieme a sistemi di fusione dati, con l'obiettivo di aumentare la probabilità di ottenere "tracce" utili; spesso, però, ciò produce detection intermittente o tracciamenti a bassa qualità, non sempre sufficienti per un ingaggio efficace. I radar a bassa frequenza e i sistemi multistatici rappresentano un'altra linea di sviluppo: alcune architetture possono ridurre i vantaggi della modellazione geometrica stealth, ma tendono ad avere precisione inferiore per la guida d'arma; per essere realmente pericolose devono integrarsi con sensori ad alta precisione, ricostruendo la kill chain. I sensori passivi eIRST evidenziano che la riduzione della firma radar non equivale alla sparizione completa delle firme infrarosse o elettromagnetiche; sensori passivi e infrarossi possono contribuire alla localizzazione, soprattutto se integrati in reti e supportati da algoritmi di riconoscimento. Infine, la guerra elettronica e l'"anti-stealth doctrine" mostrano come, accanto alla tecnologia, cresca l'importanza della dottrina: come disporre i sensori, come gestire emissioni e silenzi, come evitare che lo stealth colpisca i nodi centrali della difesa.

La conseguenza politica di questa dinamica è che il B-2 tende a spostarsi verso un ruolo sempre più "prezioso" e selettivo: quanto più il counter-stealth migliora, tanto più il B-2 viene riservato a missioni ad altissimo valore o a fasi iniziali (quando l'avversario non ha ancora ottimizzato la risposta), mentre si rafforza l'integrazione con capacità complementari (standoff, cyber, ISR, EW, droni) per distribuire il rischio e aumentare la saturazione.

8.5 Competizione tra grandi potenze e dinamiche di bilanciamento

Nel contesto della competizione tra grandi potenze, il B-2 assume un significato che va oltre il singolo teatro e rappresenta una delle espressioni della strategia statunitense di mantenere un vantaggio qualitativo. La risposta degli altri attori tende a seguire due direttrici, il bilanciamento difensivo e il bilanciamento offensivo. Questa dinamica produce un ambiente strategico più complesso in cui la superiorità non è più solo nella piattaforma, ma nella rete, cioè nella capacità di integrare sistemi, sensoristica, comunicazioni, pianificazione e logistica; la competizione si sposta sulla sostenibilità, su chi riesce a mantenere capacità avanzate operative a costi accettabili nel tempo; il valore politico del bombardamento stealth si intreccia con il rischio di escalation e con la necessità di assicurare gli alleati senza spingerli verso posture autonome o proliferazione.

In questo senso, il B-2 contribuisce al bilanciamento anche indirettamente: rafforza la deterrenza estesa e, al contempo, alimenta incentivi di adattamento e competizione. Proprio per questo, la questione "supremazia tecnologica o illusione strategica" si gioca nel tempo: un vantaggio reale oggi può diventare meno decisivo domani se la risposta avversaria accelera, oppure se la sostenibilità finanziaria non consente di mantenere la capacità allo stesso livello di prontezza.

8.6 Transizione verso B-21: implicazioni strategiche e di policy

La traiettoria di sostituzione del B-2 con il B-21 Raider costituisce un dato politicamente molto significativo, perché segnala una continuità e una correzione allo stesso tempo.

Continuità: gli Stati Uniti non abbandonano l'idea che la penetrazione stealth abbia valore strategico. Anzi, la transizione indica che, nel paradigma contemporaneo, una capacità di strike in profondità rimane considerata necessaria per deterrenza e per opzioni di crisi. Correzione: l'enfasi su maggiore producibilità e sostenibilità del successore implica un riconoscimento dei limiti del modello exquisite capability incarnato dal B-2, cioè costi elevati, flotta ridotta, manutenzione onerosa e dipendenze infrastrutturali. In termini di policy, la direzione è rendere lo stealth più scalabile e meno dipendente da condizioni eccezionali.

Da questa transizione discendono due implicazioni per la tesi. La prima è che la “necessità” non coincide con la singola piattaforma. È più corretto dire che è necessaria una funzione strategica del penetrating strike credibile, che può essere incarnata da piattaforme diverse a seconda del contesto tecnologico e dei vincoli economico-politici. La seconda è che la competizione futura tende verso un modello “sistema di sistemi”, cioè combinare piattaforme stealth con standoff, ISR avanzata, guerra elettronica, autonomia e resilienza logistica. In questa cornice, il B-2 diventa un riferimento storico e operativo: dimostra cosa può fare una capacità stealth strategica, ma mostra anche perché la sostenibilità e la scala sono variabili decisive quanto l’innovazione.

CAPITOLO 9

Caso studio contemporaneo: *Operation Midnight Hammer* (22 giugno 2025)

9.1 Premessa metodologica: perché questo caso e cosa misura davvero

Per verificare se il B-2 Spirit sia “supremazia tecnologica” o “illusione strategica” occorre un caso che metta alla prova la funzione distintiva del velivolo: penetrare o operare contro un ambiente a rischio elevato, colpire obiettivi fortificati ad alto valore e trasformare il successo tattico in un risultato politico-strategico. *Operation Midnight Hammer* (22 giugno 2025) rappresenta un caso ideale perché combina quattro elementi rari in un'unica operazione: l'impiego in un contesto di escalation regionale; lo strike su infrastrutture nucleari protette e parzialmente interrate; l'uso per la prima volta in combattimento della GBU-57 Massive Ordnance Penetrator; l'immediata controversia sull'effettivo impatto strategico e sulla valutazione dei danni⁵⁶.

L'analisi che segue utilizza fonti aperte di briefing ufficiali, analisi di istituti, OSINT e comunicati di organizzazioni internazionali. Ne deriva un limite strutturale: molte variabili decisive intelligence, dettagli tecnici delle procedure, stima completa dei danni, regole d'ingaggio restano classificate. Proprio per questo, il caso è utile: mostra il divario potenziale tra ciò che lo strumento consente tecnicamente e ciò che è dimostrabile e politicamente spendibile in termini di risultati.

9.2 Contesto: crisi regionale e obiettivi nucleari come “centri di gravità”

L'operazione avviene durante una fase di conflittualità acuta tra Israele e Iran nel giugno 2025, con un rapido deterioramento della sicurezza regionale e con un'attenzione internazionale elevatissima sulle infrastrutture di arricchimento e conversione del ciclo del combustibile nucleare. In questo quadro, i siti di Fordow, Natanz e Isfahan assumono un valore di “centro di gravità” per tre ragioni: strategica, perché colpirli significa tentare di degradare capacità, tempi e opzioni future del programma nucleare; politica, perché la loro neutralizzazione può essere presentata come “successo misurabile” e quindi come giustificazione dell'uso della forza; diplomatica, perché influenza il margine negoziale, in quanto ciò che resta “in piedi” (o recuperabile) ridisegna la credibilità delle minacce e delle concessioni.

Parallelamente, la presenza del fattore IAEA di ispezioni, verifiche e contabilità dell'uranio arricchito introduce una dimensione che spesso manca nelle analisi puramente militari: l'effetto strategico non dipende solo dal danno fisico, ma dalla possibilità di verificare ciò che è stato distrutto, ciò che è stato spostato e ciò che può essere ricostituito.

9.3 Decisione politico-militare: obiettivo limitato e problema della legittimità

Secondo ricostruzioni pubbliche, l'operazione viene presentata dall'esecutivo statunitense come un'azione a scopo circoscritto: colpire infrastrutture nucleari specifiche, senza perseguire un cambio di regime e senza aprire una guerra “open-ended”. Questa cornice è tipica delle campagne di coercizione moderne: massimizzare l'impatto su un obiettivo altamente simbolico e operativo, minimizzando l'impegno prolungato e il costo politico domestico. Tuttavia, proprio la “limitazione dell'obiettivo” genera tensioni politiche interne: quando un'azione militare di alto profilo è condotta

⁵⁶ Thomas C. Schelling, *Arms and Influence* (New Haven: Yale University Press, 1966).

con tempi rapidi, cresce il contenzioso sul perimetro dei poteri di guerra, sul ruolo del Congresso e sulla catena di responsabilità democratica⁵⁷. Questo elemento è decisivo per la tesi: una capacità come il B-2 non è neutra rispetto alla decisione politica. Rendendo praticabile uno strike a lunga distanza e ad alta precisione, può abbassare la soglia dell'opzione militare come strumento di policy, al tempo stesso, amplifica la disputa sulla legittimità e sull'accountability, soprattutto quando gli esiti restano incerti o contestati.

9.4 Concetto operativo: perché il B-2 era (quasi) insostituibile

La descrizione dell'operazione fornita da fonti aperte converge su alcuni elementi essenziali. In primo luogo, la dimensione del pacchetto e i supporti: l'operazione è descritta come un pacchetto complesso, con oltre 125 asset coinvolti tra bombardieri, caccia di scorta/protezione, tanker per il rifornimento in volo e componenti navali, incluso un sottomarino lanciamissili da crociera. Questo conferma una tesi centrale: anche lo stealth strategico non opera "da solo", ma come nodo di un sistema integrato. In secondo luogo, la piattaforma e l'armamento: sette B-2 Spirit avrebbero condotto la parte principale dello strike impiegando 14 GBU-57 MOP da 30.000 libbre, mentre missili Tomahawk avrebbero colpito componenti di superficie e/o obiettivi complementari. In più fonti, la MOP è indicata come impiegata per la prima volta in combattimento. Dal punto di vista della "necessità" del B-2, questo è il dato cruciale: la MOP è un'arma concepita attorno al concetto di penetrazione profonda e, nelle ricostruzioni ufficiali e analitiche, il B-2 è la piattaforma cardine per impiegarla in modo stealth. In terzo luogo, il tempo e la sorpresa: la finestra temporale dello strike viene descritta come breve, dell'ordine di decine di minuti, con forte enfasi sulla sorpresa e sulla riduzione della reazione difensiva. Alcune analisi sottolineano anche l'uso di misure di diversione e inganno e la presenza di velivoli avanzati in funzione di protezione e suppression del rischio. Questi tre elementi generano un punto interpretativo: l'operazione ha funzionato come dimostrazione della capacità statunitense di eseguire un attacco complesso, a lungo raggio, contro obiettivi difficili, con un elevato livello di coordinamento. È esattamente la dimensione in cui il B-2 rende concreta la "supremazia tecnologica", non tanto perché è invisibile in astratto, ma perché consente un'azione che sarebbe molto più rischiosa o impossibile con piattaforme non-stealth e con munizionamento diverso⁵⁸.

9.5 Damage assessment: tra dichiarazioni politiche e incertezza verificabile

La valutazione degli esiti è il nodo in cui il caso studio diventa più utile per la tesi. Subito dopo lo strike, il messaggio politico tende a massimizzare la percezione di successo, parlando di degradazione severa, neutralizzazione di siti chiave e arretramento temporale del programma. In seguito, emergono divergenze: alcune valutazioni preliminari, incluse ricostruzioni basate su intelligence, ridimensionano la portata del danno complessivo o sottolineano l'impossibilità di stabilire con certezza la distruzione irreversibile di capacità e scorte. Qui il punto non è stabilire chi "abbia ragione" in assoluto, ma mostrare un meccanismo tipico della coercizione aerea: l'effetto fisico, cioè distruzione o impedimento, può essere reale; l'effetto strategico, inteso come cambio di comportamento, rinuncia o deterrenza duratura, è più incerto e dipende da variabili politiche e organizzative dell'avversario; l'effetto verificabile, cioè ispezioni, accesso e contabilità dei materiali, può restare limitato per mesi, rendendo la narrativa politica vulnerabile a contestazioni⁵⁹.

⁵⁷ Lawrence Freedman, *Deterrence* (Cambridge: Polity Press, 2004).

⁵⁸ Congressional Research Service (CRS), *U.S. Strategic Bombers* (Washington, DC: Congressional Research Service, 6 January 2026).

⁵⁹ International Atomic Energy Agency (IAEA), *Safeguards and Verification Reports*, 2025.

Il tema IAEA è emblematico: se gli ispettori non possono accedere ai siti colpiti, la comunità internazionale fatica a trasformare lo strike in una stima condivisa e stabile. Ne deriva che il successo politico dipende non solo dal colpo, ma anche dal “dopo”: capacità di controllo narrativo, gestione diplomatica, prevenzione della ricostituzione e pressione sui canali di proliferazione.

9.6 Reazione iraniana ed escalation controllata: la ritorsione su Al Udeid

Un elemento spesso sottovalutato nelle letture “tecnologiche” dello stealth è che l’avversario può scegliere ritorsioni asimmetriche o geograficamente “spostate”. Nel caso in esame, fonti giornalistiche internazionali riportano una ritorsione iraniana con lancio di missili contro la base di Al Udeid in Qatar il 23 giugno 2025, senza vittime, con dinamiche che includono allerta preventiva e intercettazioni. Questo comporta due implicazioni dirette. La prima è che lo strike stealth può evitare l’intercettazione in ingresso, ma non elimina il rischio per le forze e le infrastrutture statunitensi nella regione. La seconda è che la gestione dell’escalation può assumere una forma “ritualizzata”, con colpo simbolico, limitazione delle vittime e segnali indiretti, ma resta fragile: basta un errore di calcolo o un evento accidentale per trasformare una risposta controllata in una crisi più ampia. In termini politologici, questo passaggio è decisivo: la tecnologia incide sulla tattica dell’azione iniziale, ma l’esito strategico dipende dalla dinamica interattiva tra attore che colpisce e attore che risponde⁶⁰. Il B-2 massimizza la probabilità di successo dello strike, ma non garantisce che la crisi finisca lì.

9.7 Valutazione del caso: supremazia reale, risultati strategici non garantiti

Operation Midnight Hammer consente una valutazione bilanciata. In favore della supremazia tecnologica, il B-2 appare centrale come piattaforma in grado di combinare bassa osservabilità, lungo raggio e capacità di trasportare munizionamento penetrante di grande massa. L’operazione dimostra integrazione avanzata: pacchetto numeroso, rifornimenti, sincronizzazione multi-asset, breve finestra di ingaggio. Sul piano del signaling, lo strike comunica capacità e volontà politica in modo difficilmente eguagliabile con sistemi meno “pregiati”. Al tempo stesso emergono elementi che evidenziano il limite strategico. L’impatto sul programma nucleare resta oggetto di valutazioni divergenti e, in parte, non verificabile nel breve periodo senza accesso e ispezioni. La ritorsione iraniana dimostra che la capacità di penetrare difese non neutralizza automaticamente la capacità dell’avversario di reagire e di produrre costi politici e di sicurezza. Il successo tattico non coincide con un risultato politico stabile: anche un danno severo può non tradursi in rinuncia, de-escalation duratura o soluzione diplomatica strutturale. Il caso suggerisce quindi che il B-2 è supremazia tecnologica sul piano operativo, ma non è una “scorciatoia” strategica. È uno strumento che amplia il set di opzioni della leadership politica, soprattutto contro obiettivi fortificati e in contesti ad alta minaccia, ma la conversione di quel vantaggio in risultato strategico dipende da fattori extra-tecnologici: accesso verificativo IAEA, gestione dell’escalation, risposta avversaria, coesione alleata, legittimità domestica e sostenibilità nel tempo.

⁶⁰ Robert Jervis, *The Meaning of the Nuclear Revolution* (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1989).

CAPITOLO 10

Conclusioni, limiti e raccomandazioni: supremazia tecnologica, utilità strategica e sostenibilità politica

10.1 Ritorno alla domanda di ricerca e sintesi dei risultati

La domanda guida della tesi, “Il B-2 Spirit è un asset strategico necessario per gli Stati Uniti?”, richiede una risposta condizionata, perché la “necessità” non è una proprietà intrinseca della piattaforma, ma una funzione di scenario strategico, obiettivi politico-militari, stato della competizione tecnologica, vincoli economici e di legittimazione. Dall’analisi storica e dottrinale emerge che il B-2 nasce come risposta a un problema specifico: mantenere credibile la deterrenza e la capacità di penetrazione in un ambiente di difese in rapido sviluppo. In questa cornice, il suo valore centrale è la combinazione di penetrazione stealth, flessibilità e capacità di richiamo, che lo colloca come componente politicamente manovrabile rispetto a vettori irreversibili come ICBM e, in parte, SSBN. Dall’analisi economico-politica emerge però la contro-tesi: il B-2 è anche l’emblema della “capacità squisita”⁶¹, caratterizzata da costi elevatissimi, flotta ridotta e manutenzione onerosa, con implicazioni dirette su prontezza, sostenibilità e opportunità alternative d’investimento. Infine, il caso studio contemporaneo mostra che, anche quando lo strumento produce un successo operativo altamente probabile, la conversione di tale successo in risultato strategico duraturo resta incerta e dipende da variabili politiche, verificative e di gestione dell’escalation.

10.2 Quando il B-2 è “necessario”: la funzione di *penetrating strike* ad alta credibilità

Il B-2 risulta più vicino alla “necessità” in tre condizioni cumulative. La prima riguarda obiettivi hard & deep, sensibili e protetti. Se l’obiettivo politico è degradare infrastrutture fortificate o interrate, la credibilità dell’opzione militare dipende dalla capacità di consegnare munizionamento adeguato con alta probabilità di successo. In logica di deterrenza o coercizione, la piattaforma diventa “necessaria” quando l’alternativa comporta rischi e costi, militari e politici, superiori o risultati incerti. La seconda condizione è l’ambiente A2/AD e l’incertezza operativa. In contesti in cui il difensore combina radar, SAM stratificati e capacità di risposta, lo stealth non elimina il rischio, ma alza la probabilità di completare la kill chain offensiva riducendo vulnerabilità e perdite. In questo senso, il valore del B-2 non è solo tecnico: è la possibilità di creare un’opzione credibile senza dover pre-posizionare grandi asset o ottenere basi avanzate, preservando flessibilità diplomatica. La terza condizione riguarda la dimensione politica della triade e la “controllabilità” dell’escalation. Il contributo del B-2 alla triade non è identico a quello di ICBM o SSBN: è più flessibile e, soprattutto, richiamabile, elemento politicamente rilevante in crisi.

In sintesi, il B-2 è più “necessario” quando l’alternativa non-stealth o standoff non garantisce lo stesso mix di penetrazione, precisione e controllo politico della missione.

⁶¹ Congressional Budget Office (CBO), *Projected Costs of U.S. Nuclear Forces, 2025 to 2034* (Washington, DC: Congressional Budget Office, April 24, 2025).

10.3 Quando il B-2 diventa “illusione strategica”: il divario tra effetto operativo ed esito politico

L’illusione strategica non consiste nel credere che lo stealth “non funzioni”, ma nel confondere il vantaggio operativo con un risultato politico automatico.

Il primo profilo riguarda il problema della verifica e della narrativa. In operazioni contro infrastrutture nucleari, l’effetto strategico dipende anche dalla possibilità di verificare danni e materiali, come centrifughe, scorte e catena di produzione. Il blocco o la limitazione delle ispezioni genera un’area grigia in cui la politica si nutre di dichiarazioni e contro-dichiarazioni, riducendo la stabilità della “vittoria” comunicativa. Un secondo elemento è che l’avversario può “spostare” la risposta. Anche se lo stealth riduce la probabilità di intercettazione dello strike, l’avversario può reagire in modo asimmetrico, tramite missili, proxy o cyber, contro basi e interessi regionali. Il caso della ritorsione su Al Udeid mostra che il rischio strategico non è annullato, ma cambia forma. Infine, la competizione tecnologica erode le finestre di vantaggio. La storia militare suggerisce che ogni salto genera contromisure. Lo stealth può mantenere valore a lungo, ma diventa “illusione” se lo si tratta come soluzione permanente, ignorando l’evoluzione counter-stealth, la resilienza avversaria e la capacità di ricostituzione.

10.4 Legalità, responsabilità e *accountability*: lo stealth come stress test delle istituzioni

Le tecnologie stealth proprio perché riducono rischio per l’attaccante e aumentano discrezione, pongono un problema politico: possono abbassare la soglia decisionale e spostare il baricentro dall’arena deliberativa verso l’esecutivo e apparati tecnico-militari. Questa tensione è ben descritta in termini di trasparenza limitata, responsabilità politica e rischio di attacchi preventivi, oltre alle questioni di proporzionalità e “disumanizzazione” del conflitto.

Sul piano del diritto internazionale, la cornice resta quella della Carta ONU: il ricorso alla forza è vietato salvo eccezioni (autorizzazione del Consiglio di Sicurezza o autodifesa individuale/collettiva in presenza di “armed attack”).

In assenza di autorizzazione ONU, la giustificazione politica tende a ricadere sull’autodifesa o sulla difesa collettiva, ma questi argomenti vengono contestati quando lo strike è interpretato come preventivo o quando la proporzionalità è controversa⁶².

Sul piano interno statunitense, il tema dell’*accountability* si lega alla War Powers Resolution: obblighi di consultazione/notifica e, soprattutto, vincoli temporali sull’impiego delle forze senza autorizzazione congressuale, con una finestra tipica di 60 giorni.

Il punto politologico è che lo stealth rende più “facile” l’opzione militare; quindi, aumenta l’importanza di meccanismi istituzionali che preservino controllo democratico e legittimazione.

⁶² United Nations, *Charter of the United Nations*, 1945, art. 51.

10.5 Valutazione complessiva costi-benefici: perché la scala conta quanto la tecnologia

La sostenibilità è la variabile che più chiaramente separa supremazia e illusione. I dati sul costo unitario e sul peso manutentivo mostrano un paradosso: la capacità più preziosa è anche quella più fragile dal punto di vista della prontezza e della scalabilità. Il fatto che il B-2 richieda un numero molto alto di ore di manutenzione per ogni ora di volo e che i costi operativi siano estremamente elevati non è un dettaglio “contabile”: condiziona frequenza di addestramento, disponibilità, turnazione equipaggi e capacità di generare sortite in crisi prolungate.

Ne deriva una conclusione analitica: il B-2 è uno strumento eccellente per missioni selettive ad altissimo valore, ma diventa meno efficiente come “asset di massa”. In altre parole, la supremazia esiste finché la piattaforma resta integrata in un ecosistema che assorba costi, protegga infrastrutture e mantenga prontezza; altrimenti, rischia di essere un simbolo più che una capacità sostenibile.

10.6 Raccomandazioni di policy: come evitare l’illusione strategica

Dall’insieme dell’analisi discendono quattro linee di policy che trasformano il vantaggio tecnico in utilità strategica duratura. La prima riguarda una dottrina di impiego selettivo e “value-based targeting”. La penetrazione stealth dovrebbe essere riservata alle missioni in cui produce un vantaggio irreplicabile, come hard & deep, obiettivi time-sensitive e aperture di campagna, evitando l’uso “di routine” che normalizza lo strike e alimenta escalation o contromisure. La seconda linea è l’integrazione multi-dominio e la riduzione del carico sul “singolo asset”. La missione di strike dovrebbe essere progettata come pacchetto, integrando ISR, EW, cyber, standoff e deception. Questo riduce la dipendenza dalla piattaforma pregiata e rende più robusta la capacità complessiva. La terza riguarda governance e trasparenza controllata. Lo stealth richiede segretezza operativa, ma la legittimità richiede accountability. La soluzione non è la trasparenza totale, ma una trasparenza a livelli: briefing istituzionali, criteri di impiego, reporting e, quando possibile, elementi verificativi su effetti e danni collaterali. In questo quadro, il ruolo delle istituzioni, Congress, alleati e organismi internazionali, è decisivo. La quarta linea è la sostenibilità e la scala nel ciclo di sostituzione. La transizione verso un successore più “producibile” risponde al limite strutturale del B-2, cioè una capacità straordinaria ma troppo rara e costosa. L’obiettivo di policy deve essere preservare la funzione, penetrating strike credibile, rendendola più scalabile e meno fragile.

10.7 Risposta finale: supremazia tecnologica sì, necessità strategica solo a condizioni precise

Alla luce delle evidenze, il B-2 Spirit è supremazia tecnologica sul piano operativo: offre penetrazione, precisione e controllo della missione in modo difficilmente eguagliabile, e svolge un ruolo politico peculiare nella triade grazie a flessibilità e richiamabilità. È però necessario solo in condizioni determinate: quando la strategia richiede una capacità credibile di colpire obiettivi fortificati in ambienti ad alta minaccia, e quando il decisore vuole mantenere opzioni di coercizione/deterrenza senza dipendere da basi avanzate o da un’escalation immediata. In tutti gli altri casi, il rischio è scambiare la possibilità tecnica di colpire per la capacità strategica di “risolvere” una crisi: un errore che l’esperienza contemporanea segnala come particolarmente pericoloso, soprattutto quando l’esito è contestabile e la verifica internazionale è limitata.

CAPITOLO 11

Conclusioni e *policy options*

11.1 Risposta alla domanda di ricerca secondo la griglia del Capitolo 2

La domanda “Il B-2 Spirit è un asset strategico necessario per gli Stati Uniti?” va risolta applicando la griglia multicriterio già definita nel Capitolo 2, cioè vantaggio strategico, sostenibilità, costo-efficacia, adattamento avversario, utilità per scenari contemporanei, legittimità e accountability. Per quanto riguarda il vantaggio strategico distintivo, inteso come penetrazione e signaling, il B-2 conserva una funzione unica: garantire opzioni credibili di penetrating strike contro obiettivi ad alto valore in ambienti difesi, rafforzando deterrenza e signaling. Questa capacità, per natura, ha valore politico perché amplia il set di opzioni del decisore senza dipendenze immediate da basi avanzate. Sul piano della credibilità e sostenibilità operativa, quindi readiness e sostentamento, la credibilità del B-2 dipende in modo cruciale dalla sostenibilità: rivestimenti LO, manutenzione specialistica e cicli di rigenerazione incidono su disponibilità reale. Il dato riportato su manutenzione e costi orari indica un vincolo strutturale: la capacità è “pregiata” ma onerosa da mantenere in prontezza continua. In termini di costo-efficacia e trade-off di bilancio, il costo totale del programma e il costo unitario elevatissimo derivante dalla flotta ridotta implicano un costo-opportunità significativo rispetto ad alternative di standoff, ISR, EW e capacità distribuite. Ciò non invalida la necessità in assoluto, ma impone un impiego selettivo: la piattaforma è efficiente solo quando produce un effetto non sostituibile. Rispetto all’adattamento avversario e alla dinamica competitiva, quindi counter-stealth, il vantaggio LO non è statico: spinge gli avversari a contromisure come IADS più integrate, sensori multibanda e resilienza degli obiettivi. Ne deriva che la necessità del B-2 è temporale e condizionata, alta in alcune finestre e scenari, ridotta in altri. Quanto all’utilità per scenari contemporanei, distinguendo tra alta intensità e asimmetrico, il B-2 è più utile in scenari ad alta intensità e nelle fasi iniziali, “first nights” e “first days”, meno determinante nei conflitti prolungati o contro attori non-statali, dove lo strike tecnologico non garantisce outcome politici duraturi. Infine, sul piano di legittimità e accountability, cioè soglia d’impiego, la capacità di condurre strike con ridotto rischio per l’attaccante può abbassare la soglia politica di impiego della forza e aumentare la tensione su controllo democratico, proporzionalità e trasparenza. Questo costo “politico” non è secondario: influisce sulla sostenibilità della strategia nel tempo e sulla credibilità internazionale.

La risposta sintetica secondo la griglia è che il B-2 è “necessario” non come piattaforma universale, ma come capacità di nicchia strategica: indispensabile in alcuni scenari e sostituibile, o sproporzionato, in altri.

11.2 Bilancio finale: supremazia tecnologica o illusione strategica?

L’analisi conduce a un bilancio “duale”, coerente con il titolo della tesi.

Da un lato emerge una supremazia tecnologica vera sul piano operativo. Il B-2 dimostra una superiorità concreta nella penetrazione e nella consegna di armamento in ambienti difesi, abilitando strike selettivi su obiettivi di alto valore e rafforzando deterrenza e signaling. Dall’altro lato si evidenzia la possibilità di un’illusione strategica se il vantaggio operativo viene scambiato per risultato politico automatico. Il caso studio contemporaneo mostra che anche un successo tattico può produrre risultati strategici ambigui: danni contestati o difficili da verificare, risposte asimmetriche e dinamiche di escalation che sfuggono alla “logica tecnica” dello stealth.

La conclusione è che il B-2 non è un'illusione come tecnologia; può diventare un'illusione come strategia se utilizzato come scorciatoia per problemi politici, come proliferazione, stabilità regionale e credibilità diplomatica, che richiedono strumenti complementari.

11.3 Implicazioni per deterrenza, dottrina e posture future

Dalle evidenze emerse nei capitoli precedenti discendono tre implicazioni principali. In tema di deterrenza, il B-2 rafforza la deterrenza offrendo “credible options” di strike profondo più che “mass”, ma la sua flotta ridotta e l'elevato sostenimento suggeriscono che la deterrenza futura dovrà basarsi su un mix: capacità penetranti “pregiate” affiancate da capacità di standoff e distribuite per garantire massa e resilienza. Sul piano dottrinale, il rendimento strategico massimo si ottiene nelle prime fasi di crisi o conflitto, quando la neutralizzazione di nodi difensivi e obiettivi hard & deep genera un vantaggio cumulativo. Impiegare il B-2 al di fuori di questa logica aumenta costi e rischi senza produrre effetti proporzionati. Quanto alle posture future, la transizione verso una stealth più scalabile indica che la funzione stealth strategica resta centrale, ma dovrà essere resa più sostenibile e numericamente più ampia. Il futuro appare quindi meno “single platform” e più “system-of-systems”, dove il bomber stealth rappresenta un nodo e non l'intera strategia.

11.4 Opzioni di policy (2–3 scenari alternativi con pro/contro)

Opzione A — “Stealth Core”: mantenere il B-2 come capacità d'élite fino alla piena transizione al B-21.

Questa opzione prevede di mantenere il B-2 in servizio con aggiornamenti mirati e impiego selettivo, trattandolo come capacità di apertura di campagna e strike hard & deep, investendo in sostenibilità, RAM, hangar e personale, per preservare la Readiness. I principali vantaggi sono la preservazione di una capacità unica durante la transizione e l'aumento della credibilità deterrente, il mantenimento di opzioni contro obiettivi fortificati e ambienti A2/AD e la riduzione del rischio di “capability gap” in scenari ad alta intensità. I contro riguardano costi O&S elevati e vulnerabilità di una flotta ridotta, la dipendenza da infrastrutture e manutenzione specialistiche e un rischio politico legato a un uso “facilitato” dello strike, con conseguente stress su accountability.

Opzione B — “Distributed Strike Mix”: ridurre la centralità del B-2 puntando su standoff più ISR/EW e capacità distribuite.

Questa opzione consiste nel limitare ulteriormente l'impiego del B-2 e spostare risorse verso munizionamento standoff, sensori, guerra elettronica, cyber e piattaforme più numerose, anche autonome, mantenendo lo stealth strategico come “ultima ratio” per obiettivi hard & deep. Tra i pro vi sono maggiore scalabilità e resilienza, con riduzione del small fleet risk, potenziale riduzione dei costi marginali per missione e maggiore presenza su più teatri, nonché migliore adattamento a conflitti prolungati e contesti ibridi o asimmetrici. I contro includono il rischio di perdita di capacità di penetrazione in alcune finestre operative, la dipendenza da intelligence e data-links con vulnerabilità a EW e cyber avversari e un minore potere di “signaling” rispetto a una capacità penetrante iconica.

Opzione C — “Accelerated Transition”: accelerare il phase-out del B-2 e concentrare investimenti sul B-21 e abilitatori. Questa opzione prevede di ridurre tempi e spesa di sostentamento sul B-2 per concentrare risorse sulla produzione e maturazione del B-21, privilegiando sostenibilità e scala, con una flotta più ampia, e investimenti paralleli in tanker, basing resiliente e integrazione multidominio. I vantaggi sono il miglioramento della sostenibilità e della scalabilità della capacità stealth nel medio periodo, la riduzione dei costi di mantenimento di una piattaforma legacy

complessa e una maggiore coerenza con la logica di competizione lunga, attrito e resilienza. I contro comprendono un possibile “capability gap” se la transizione subisce ritardi o se emergono crisi nel frattempo, la perdita anticipata di un asset simbolico e deterrente e un rischio politico-industriale legato alla dipendenza da un singolo programma futuro.

11.5 Limiti della ricerca e sviluppi futuri

Limiti principali: la classificazione e l’asimmetria informativa rappresentano un vincolo strutturale, perché molte metriche decisive, come RCS reale per profili specifici, dettagli di mission planning, contromisure EW e BDA completo, restano non accessibili; di conseguenza, l’analisi si basa su fonti aperte e deve evitare conclusioni eccessivamente determinate. Un secondo limite riguarda la misurazione dell’effetto strategico: collegare uno strike a outcome politici, come cambio di comportamento, de-escalation o rinuncia, è intrinsecamente difficile e dipende da variabili confondenti. Il terzo limite riguarda il bias delle fonti, poiché comunicazioni ufficiali possono enfatizzare il successo, fonti avversarie possono minimizzarlo e l’OSINT ha limiti di interpretazione.

Sviluppi futuri: un primo sviluppo consiste nel costruire un modello comparativo tra B-2 e alternative, come B-21, standoff e piattaforme autonome, utilizzando indicatori comuni, tra cui costo del ciclo di vita, disponibilità, capacità di penetrazione, flessibilità e rischio di escalation. Un secondo sviluppo riguarda l’analisi più sistematica del rapporto tra strike stealth e accountability, includendo decision-making, War Powers e controllo parlamentare, integrando letteratura di diritto costituzionale e relazioni civili-militari. Un terzo sviluppo consiste nell’approfondire la dimensione counter-stealth come competizione “sistema-contro-sistema”, cioè sensori, data fusion ed EW, valutando scenari realistici di guerra elettronica e degradazione del GPS.

Bibliografia

Doyle, David. *Flying Wings: A Visual History of the Northrop XB-35 & YB-49 Flying Wings*. Emfour Publishing, 2015.

Freedman, Lawrence. *Deterrence*. Cambridge: Polity Press, 2004.

Jervis, Robert. *The Meaning of the Nuclear Revolution: Statecraft and the Prospect of Armageddon*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1989.

Johansson, L. C., et al. "Aerodynamic Efficiency Explains Flapping Strategies Used by Birds." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2024.

Lambeth, Benjamin S. *NATO's Air War for Kosovo: A Strategic and Operational Assessment*. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2001.

Murayama, Y., et al. "Flexible Flaps Inspired by Avian Feathers Can Enhance Aerodynamic Performance in Disturbances." *Frontiers in Robotics and AI*, 2021.

Pace, Steve. *B-2 Spirit: The Most Capable War Machine on the Planet*. New York: McGraw-Hill, 1999.

Pape, Gary R., e John M. Campbell. *Northrop Flying Wings*. Oxford: Osprey Publishing, 2019.

Pape, Robert A. *Bombing to Win: Air Power and Coercion in War*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1996.

"Gull-Inspired Joint-Driven Wing Morphing Allows Adaptive Aerodynamic Performance." *Journal of The Royal Society Interface* 18, no. 179 (2021).

Schelling, Thomas C. *Arms and Influence*. New Haven: Yale University Press, 1966.

Sweetman, Bill. *Inside the Stealth Bomber*. St. Paul, MN: Zenith Press, 1999.

Sweetman, Bill. *Stealth Bomber: Invisible Warplane*. St. Paul, MN: Zenith Press, 1991.

Waltz, Kenneth N. *Theory of International Politics*. New York: McGraw-Hill, 1979.

Documenti ufficiali e report istituzionali

Congressional Budget Office (CBO). *Projected Costs of U.S. Nuclear Forces, 2025 to 2034*. Washington, DC, 24 aprile 2025.

Congressional Research Service (CRS). *U.S. Strikes on Nuclear Sites in Iran*. In Focus IN12571. Washington, DC, 23 giugno 2025.

Congressional Research Service (CRS). *U.S. Strategic Bombers*. In Focus IF12945. Washington, DC, 6 gennaio 2026.

Government Accountability Office (GAO). *Weapon System Sustainment: Aircraft Mission Capable Rates and Related Trends*. GAO-23-106217. Washington, DC, 2 novembre 2022.

International Atomic Energy Agency (IAEA). “Statement to the Board of Governors on Iran.” 16 giugno 2025.

International Atomic Energy Agency (IAEA). “Statements on the Situation in Iran.” 13–20 giugno 2025.

U.S. Air Force. “B-2 Spirit Fact Sheet.” Pagina ufficiale, n.d.

U.S. Department of Defense. *Selected Acquisition Report (SAR): B-2 Defensive Management System–Modernization (B-2 DMS-M)*. Washington, DC: DoD/OSD, dicembre 2019.

U.S. Department of Defense. *Selected Acquisition Report (SAR): B-2 Display Modernization (B-2 BDM)*. Washington, DC: DoD/OSD, 7 aprile 2022.

Sitografia

Air & Space Forces Magazine. “Northrop Gets \$7 Billion for B-2 Support Through 2029.” 6 maggio 2024.

Breaking Defense. “Northrop Wins \$7 Billion Air Force Contract for More B-2 Sustainment, Upgrades.” 3 maggio 2024.

Leone, Dario. “An Unbelievable Image Seems to Suggest the Shape of the B-2 Stealth Bomber Was Inspired by Mother Nature.” *The Aviationist*, 19 marzo 2013.

MegaBuilds. “The Insane Engineering of the B-2 Bomber.” Video YouTube, n.d.

Reuters. “IAEA Says It Has No Evidence Iran Is Building a Nuclear Weapon.” 20 giugno 2025.

Reuters. “Iran Launches Missiles at U.S. Base in Qatar, No Casualties Reported.” 23 giugno 2025.

The War Zone. “B-2 Stealth Bomber’s Latest Upgrade Is Here.” 17 luglio 2024.

The Washington Post. “What Is the Massive Ordnance Penetrator, the U.S. Bunker-Busting Bomb?” 17 giugno 2025.

Fluctus. “B-2 Spirit: US Most Feared Stealth Bomber Ever Made.” Video YouTube, n.d.

Fluctus. “B2 Spirit Bomber Plane | How Stealth Works?” Video YouTube, n.d.

Volare. “Il bombardiere stealth più terrificante al mondo...” Video YouTube, 2025.