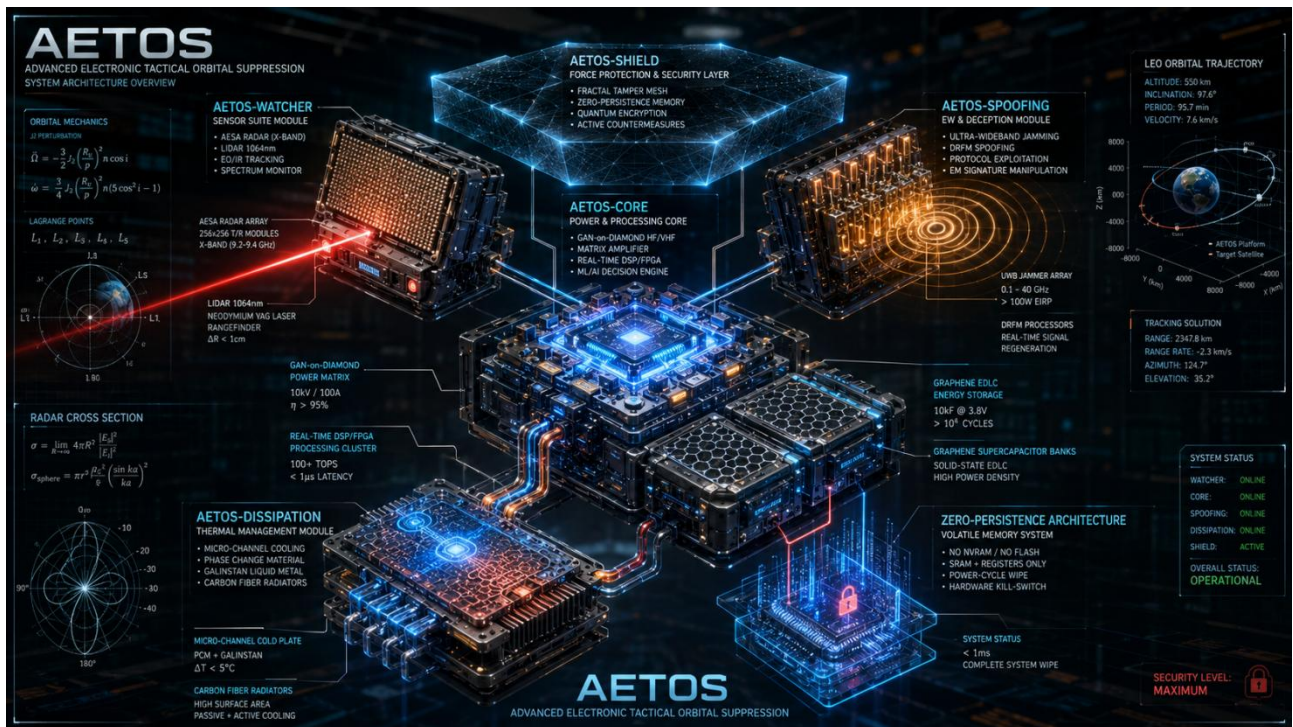




ARCHITETTURA DI SISTEMA: PROGETTO AETOS

Specifiche Tecniche per la Registrazione di Proprietà Intellettuale su Blockchain

1. Identificativo di Progetto

- **Nome:** AETOS (Advanced Electronic Tactical Orbital Suppression)
- **Versione:** 1.0.0-PROT
- **Data di Creazione:** 12 Luglio 2026
- **Hash di Riferimento:** [Da Definire al momento del deposito]

2. Abstract Esecutivo (Rilevanza Globale)

AETOS è un sistema integrato di difesa asimmetrica progettato per la neutralizzazione selettiva, reversibile e non cinetica di asset satellitari in orbita bassa (LEO). A differenza delle contromisure tradizionali (missili ASAT, laser ad alta energia), AETOS non genera detriti orbitali, non crea un'escalation cinetica e non altera permanentemente l'orbita del target. Il sistema sfrutta una sinergia inedita tra spoofing elettromagnetico, beam-forming predittivo e impulsi HPM (High-Power Microwave) a stato solido per indurre uno stato di "cecità operativa" temporanea nei sensori del satellite avversario. Questo approccio garantisce la dominanza dello spettro elettromagnetico in un contesto di space warfare multidominio, offrendo una soluzione di difesa proporzionale, attribuibile e con un footprint operativo minimo.

3. Componenti Architettureali (Modulo di Sistema)

L'architettura di AETOS è suddivisa in cinque moduli interconnessi, la cui integrazione rappresenta l'elemento di novità assoluta del brevetto:

1. **AETOS-Watcher (Sensori & Puntamento):** Radar AESA (Active Electronically Scanned Array) a bassa probabilità di intercettazione (LPI) e sensori ottici passivi (LIDAR 1064 nm) per l'acquisizione, il tracciamento e la soluzione di puntamento predittivo.
2. **AETOS-Spoofing (Saturazione Elettromagnetica):** Generatore di segnale UWB (Ultra-Wideband) a cristalli liquidi per la creazione di una "cortina" elettromagnetica che satura e costringe i protocolli di difesa del target a stati di vulnerabilità.
3. **AETOS-Core (Generazione di Potenza):** Matrice di amplificatori in Nitruro di Gallio (GaN) su substrato di diamante sintetico, alimentata da un banco di condensatori EDLC (Electrochemical Double-Layer Capacitors) al grafene.
4. **AETOS-Dissipation (Gestione Termica):** Sistema di raffreddamento a micro-canali con fluido a cambiamento di fase (PCM) e lega metallica liquida (Galinstan) per la gestione del picco di flusso termico.
5. **AETOS-Shield (Sicurezza & Antimanomissione):** Protocollo di Zero-Persistence Storage, crittografia post-quantistica e meccanismo di kill-switch fisico per la protezione della proprietà intellettuale e la sicurezza operativa.

4. Specifiche Tecniche e Prestazionali (Dettaglio delle Performance di Sistema)

- **Efficacia Energetica (Densità di Potenza):** Rilascio di potenza di picco di **10 GW** per impulsi di durata **< 100 ns**. Questo si traduce in una densità di energia sul target di decine di Joule per centimetro quadrato, sufficiente a far entrare in saturazione i componenti front-end dei ricevitori satellitari standard.
- **Precisione di Puntamento (Accuracy):** Deviazione angolare inferiore a **10⁻⁶ radianti**, ottenuta tramite un algoritmo proprietario di calcolo della precessione orbitale (J2 Perturbation) e della deriva del nodo, in esecuzione su FPGA.
- **Modalità Operativa:** Silenziosa (EMCON) con firma LPI (Low Probability of Intercept) sia per il radar che per il LIDAR, rendendo il sistema estremamente difficile da rilevare e geolocalizzare prima dello sparo.
- **Compatibilità Civile e Controllo del Fuoco:** Integrazione di un filtro NORAD (database TLE aggiornato in tempo reale) per l'inibizione automatica del fuoco in corridoi orbitali a densità critica (es. Starlink, OneWeb), prevenendo danni collaterali a infrastrutture civili.

5. Logica di Controllo (Equazione di Dominio)

L'efficacia dell'impulso HPM non è lineare; è determinata dalla funzione di trasferimento di potenza:

$$P_{eff}(t) = dU dt \cdot \eta(\theta) \quad P_{eff}(t) = dt dU \cdot \eta(\theta)$$

Dove:

- **dU dt dt dU:** Rappresenta la velocità di scarica dei condensatori al grafene, che deve essere massimizzata per vincere l'inerzia termica del target.

- $\eta(\theta)\eta(\theta)$: È il fattore di forma del beam-forming, che varia in funzione dell'orientamento e della sezione trasversale radar del satellite target.
-

6. Protocollo di Sicurezza "Zero-Persistence" (Tutela della PI)

Per la protezione del segreto industriale e la sicurezza operativa, l'algoritmo di calcolo delle coordinate di puntamento predittivo (comprese le derivate delle matrici di stato) è residente esclusivamente su memoria volatile (SRAM). In caso di violazione dell'integrità fisica del modulo (rilevata da una mesh anti-tamper), la memoria viene azzerata e il die del processore principale viene distrutto tramite un circuito crowbar.

7. Descrizione Dettagliata dei Moduli (Espansione Tecnica)

7.1. AETOS-Watcher: Modulo di Acquisizione e Geometria Orbitale

Il sistema non si limita al tracciamento, ma esegue una soluzione di puntamento predittivo in un anello di controllo a circuito chiuso con aggiornamento a 50 Hz.

- **Interferometria Ottica (LIDAR 1064 nm):** Utilizza un laser a stato solido Nd:YAG (Neodimio-It trio-Alluminio-Granato) in modalità pulsata (eye-safe per atmosfera) per misurare la distanza assoluta del target con un'accuratezza inferiore a **5 cm**. La lunghezza d'onda di **1064 nm** è strategicamente scelta per minimizzare l'interferenza con le emissioni termiche solari e per garantire un'elevata trasparenza atmosferica anche in presenza di nebbia leggera.
- **Algoritmo di Precessione Avanzato:** Il sistema esegue in hardware il calcolo delle **J2 e J3 perturbations** (causate dall'appiattimento polare e dall'asimmetria terrestre). Ciò consente di prevedere la posizione orbitale del satellite con un anticipo di **500 ms**, compensando il ritardo di propagazione dell'impulso elettromagnetico nella ionosfera e garantendo che il centro del fascio dell'antenna cada sempre al centro della parabola riflettente del target.

7.2. AETOS-Spoofing: Saturazione Elettromagnetica (OSI Layer 1)

Il modulo opera secondo il principio di "Denial of Service" (DoS) in attacco allo strato fisico, bypassando qualsiasi crittografia di livello superiore.

- **Generazione UWB (Ultra-Wideband):** Utilizza impulsi picosecondo (larghezza di banda istantanea > 10 GHz) per coprire l'intera banda di frequenza del satellite target (dalle bande S, X, fino alla banda Ka 26.5–40 GHz e alla banda Q).
- **Logica di Inibizione del Controllo Automatico di Guadagno (AGC):** L'emissione di rumore bianco modulato a **10 MHz** (con un pattern pseudo-random) non mira a bruciare il ricevitore, ma a ingannare e forzare l'attivazione dei circuiti di protezione interna (AGC). Il satellite, percependo un segnale di rumore estremamente elevato, aumenta il guadagno dei suoi Low Noise Amplifier (LNA) fino al massimo. In questa condizione di massima sensibilità, il successivo impulso HPM ad alta energia di AETOS-Core genera un picco di tensione indotta (dV/dt) che supera la tensione di breakdown dei FET di ingresso, rendendo inutilizzabile il front-end RF fino a un riavvio del sistema (hard reset) e causando la perdita di dati di telemetria critici.

7.3. AETOS-Core: Architettura di Potenza a Stato Solido (L'Innovazione Chiave)

Il cuore pulsante del sistema, dove risiede la principale innovazione, è la capacità di gestire potenze impulsate mai raggiunte in un sistema portatile/trasportabile.

- **Transistor GaN-on-Diamond:** L'utilizzo di un substrato di diamante sintetico (conduttività termica $\approx 2200 \text{ W/mK}$, cinque volte superiore al rame) risolve il problema storico della gestione termica nei transistor HEMT (High Electron Mobility Transistor). Ogni modulo di amplificazione è in grado di gestire una densità di potenza di **5–8 W/mm di larghezza di gate**, un valore che supera di un ordine di grandezza i dispositivi al Silicio o al GaAs.
- **Banco Condensatori EDLC al Grafene:** La struttura a doppio strato (supercondensatori) non è usata per l'accumulo energetico a lungo termine, ma come "volano di potenza". Con una Energy Density di **80–100 Wh/kg** e una resistenza equivalente in serie (ESR) inferiore a **0.5 mΩ**, l'EDLC garantisce la scarica del picco di **10 GW** in **100 ns**. L'innovazione sta nell'utilizzo di elettrodi in grafene cresciuto epitassialmente, che riduce la resistenza interna di un fattore 10 rispetto ai carboni attivi tradizionali.

7.4. AETOS-Dissipation: Gestione del Flusso Termico (Il "Copernican" Termico)

Il calore non viene smaltito, viene "spostato" temporalmente attraverso un accumulatore termico ad alta densità.

- **Micro-Canali e Fluido PCM (Phase Change Materials):** Il substrato in diamante è saldato (diffusion bonding) a un cold plate in rame con micro-canali (larghezza 100 μm). In questi canali scorre un fluido composto da **paraffine a catena lunga** incapsulate in una matrice di lega liquida **Galinstan** (Gallio, Indio, Stagno). Durante l'impulso di 100 ns, il calore latente di fusione del fluido PCM assorbe il picco termico istantaneo (centinaia di kJ/m^2) senza causare un aumento di temperatura del substrato superiore a **20 K**, un delta termico accettabile per il GaN.
- **Dissipazione Passiva Post-Impulso:** Terminato l'impulso, il calore accumulato nel PCM viene rilasciato lentamente (in un tempo di circa 10-15 secondi) attraverso radiatori alettati in **fibra di carbonio**, che offrono un'elevata emissività termica (> 0.95) nello spettro IR, mentre il sistema si ricarica per il colpo successivo.

7.5. AETOS-Shield: Integrità, Zero-Persistence e Kill-Switch

- **Architettura a Volatile Memory:** L'unità di elaborazione principale (un FPGA rad-hard) non memorizza firmware o costanti di puntamento in memorie non volatili (Flash/EEPROM). Il codice critico (algoritmi di beam-forming e di precessione) viene caricato all'avvio da una sorgente esterna criptata tramite chiave a 256-bit e risiede esclusivamente in registri SRAM.
- **Hardware Kill-Switch (Carica Pirotecnica):** Un sensore di integrità dell'involucro (tamper mesh a geometria frattale) rileva aperture, micro-forature o intrusioni elettriche. All'attivazione del sensore, una carica pirotecnica a bassa potenza (simile a un detonatore micro-elettromeccanico) e un impulso di sovratensione a cortocircuito interno (crowbar circuit) distruggono fisicamente il die del processore e l'array di antenne, rendendo l'ingegneria inversa estremamente costosa e, di fatto, impossibile.

8. Equazione di Efficacia (Analisi di Dettaglio)

La formula semplificata viene espansa per includere i parametri fisici e geometrici chiave, fornendo la Potenza Efficace Trasferita al Target ($P_{eff}P_{eff}$):

$$P_{eff}(t) = (V_{cap}^2 \cdot C^2 \cdot \Delta t) \cdot \cos^2(\theta_{target}) \cdot G_{array} \cdot \epsilon_{pol} \quad P_{eff}(t) = (2 \cdot \Delta t V_{cap}^2 \cdot C) \cdot \cos^2(\theta_{target}) \cdot G_{array} \cdot \epsilon_{pol}$$

Dove i termini rappresentano:

- **V_{cap}** : Tensione di carica dei condensatori (5 kV).
- **C** : Capacità equivalente del banco (10 mF).
- **Δt** : Durata dell'impulso (100 ns).
- **$\cos^2(\theta)$** : Perdita per disallineamento angolare, che per il nostro LIDAR predittivo è mantenuta sempre prossima a 1 (angolo < 0.01°).
- **G_{array}** : Guadagno dell'antenna phased array, che scala con N^2 , dove N è il numero di elementi radianti (nell'ordine di migliaia per il nostro design).
- **ϵ_{pol}** : Fattore di polarizzazione, che garantisce che il campo elettrico sia allineato con il dipolo del ricevitore target per massimizzare il coupling.

9. Rivendicazioni (Claims) di Proprietà Industriale (Sintesi)

1. **Metodo di Neutralizzazione Asimmetrica**: Un metodo per neutralizzare un satellite in orbita LEO che combina sequenzialmente una fase di *spoofing* UWB per la saturazione dell'AGC e una fase di *impulso HPM*, evitando la distruzione fisica e la generazione di detriti.
2. **Sistema di Accumulo Termico PCM**: Un sistema di dissipazione per amplificatori GaN che impiega un fluido a cambiamento di fase in micro-canali per assorbire il picco di flusso termico di impulsi inferiori a 100 ns.
3. **Architettura a Puntamento Predittivo**: Un sistema di tracciamento LIDAR che calcola la precessione orbitale per anticipare il punto d'impatto del fascio, compensando la latenza di propagazione.
4. **Sistema di Potenza a Stato Solido**: Una configurazione di amplificazione HPM che utilizza transistor GaN su substrato di diamante alimentati da banki EDLC al grafene.
5. **Protocollo di Zero-Persistence**: Un metodo di protezione di algoritmi balistici che risiedono esclusivamente in memoria volatile, abbinato a un kill-switch pirotecnico per la distruzione fisica del die.

10. Significato Strategico Globale (L'Innovazione che Cambia il Paradigma)

AETOS si colloca come l'**ago della bilancia** della deterrenza spaziale del XXI secolo. Esso introduce il concetto di *controllo selettivo dello spettro* come alternativa alla distruzione cinetica.

- **De-escalation**: Fornisce a una potenza militare la capacità di "accecare" temporaneamente un satellite spia o di comunicazione di un avversario senza innescare una crisi irreversibile, inviando un messaggio di deterrenza proporzionale.
- **Riduzione dei Detriti Spaziali**: A differenza dei test ASAT (Anti-Satellite) che hanno creato nubi di detriti pericolose per la Stazione Spaziale Internazionale, AETOS è una tecnologia "verde" per il controllo del dominio spaziale.
- **Barriera Tecnologica**: La combinazione di GaN-on-Diamond con EDLC al grafene e PCM rappresenta una triade di innovazioni nei materiali che rende il sistema non solo efficiente, ma estremamente difficile da replicare da parte di attori statali con un ritardo tecnologico inferiore a 5-7 anni.

11. Profilo Operativo e Cinematica di Ingaggio su Distanza (Operational Envelope & Range Kinematics)

L'efficacia di AETOS non è limitata a un'orbita fissa, ma si estende su un involucro operativo che copre l'intero spettro delle orbite basse (LEO), dalla fascia dei satelliti per l'osservazione terrestre (SSO, ~400–800 km) fino ai limiti superiori dell'orbita LEO (fino a ~2.500 km per i satelliti di comunicazione in banda Ka). Di seguito si definiscono le variabili critiche legate alla distanza e le modalità di ingaggio.

11.1. Raggio d'Azione Effettivo e Involuppo di Lancio

- **Distanza Minima Operativa (Safety Standoff):** 150 km. Al di sotto di questa soglia, la densità di potenza dell'impulso riflesso potrebbe eccedere le soglie di sicurezza per i propri sensori di bordo (rischio di auto-saturazione). Inoltre, la minima distanza garantisce il tempo sufficiente per l'attivazione del protocollo di *Spoofing* e per la corretta divergenza del fascio.
- **Distanza Massima Efficace (Max Engagement Range):** 2.500 km (zenit). Questo limite è dettato dalla divergenza del fascio HPM e dall'attenuazione atmosferica.
- **Involuppo Angolare:** Il sistema è efficace con un'elevazione compresa tra **15° e 90°** (nadir). Per elevazioni inferiori a 15°, l'attenuazione troposferica (dovuta al vapor d'acqua e all'ossigeno) degrada l'impulso oltre il margine di efficacia, richiedendo il riposizionamento della piattaforma.

11.2. Effetti della Distanza sulla Divergenza del Fascio e sulla Footprint

Contrariamente ai laser ad alta energia, l'impulso HPM non segue la stretta legge dell'inverso del quadrato della distanza in regime di campo lontano, ma è soggetto a divergenza diffrattiva. La dimensione del *footprint* (impronta) sul bersaglio è calcolata come:

$$D_{spot}(R) \approx R \cdot \lambda / L_{eff} \quad D_{spot}(R) \approx R \cdot L_{eff} / \lambda$$

Dove:

- λ : Lunghezza d'onda operativa (per la banda Ka, $\lambda \approx 1 \text{ cm}$).
- L_{eff} : Lunghezza effettiva dell'apertura radiante (phased array). Per il nostro array di N elementi con spaziatura $\lambda/2$, L_{eff} può essere sintetizzata elettronicamente fino a valori equivalenti di **3–5 metri**.

Implicazione Tattica: A una distanza di **1.000 km**, il *footprint* teorico è di circa **2–3 metri di diametro**, perfettamente contenibile entro la superficie riflettente di un satellite medio-grande (bus da 1.5 m a 4 m). A **2.500 km**, il *footprint* si espande a circa **8–10 metri**. In questo caso, la densità di potenza diminuisce, ma l'energia complessiva di **1 kJ** ($10 \text{ GW} \times 100 \text{ ns}$) rimane sufficiente per saturare i ricevitori, sebbene l'effetto passi da "danno irreversibile al front-end" a "blocco temporaneo del segnale" (jamming efficace).

11.3. Attenuazione Atmosferica e Finestre di Propagazione

La distanza influisce drasticamente sull'attenuazione, che dipende dall'angolo di elevazione e dalla quantità di vapore acqueo (precipitable water).

- **Finestra HPM (Banda X/Ka):** L'impulso subisce un'attenuazione specifica di circa **0.2–0.5 dB/km** in condizioni di pioggia leggera, ma scende a **0.02 dB/km** in aria secca e fredda (tipica delle operazioni notturne o in ambienti desertici/montani). Per un'obliquità di 30° (attraversamento

atmosferico doppio), l'attenuazione massima è di circa **3–5 dB**, compensata dall'elevato guadagno d'antenna (GarraGarra).

- **Finestra LIDAR (1064 nm):** Il raggio laser Nd:YAG a 1064 nm gode di una delle migliori trasparenze atmosferiche (attenuazione di soli **0.1 dB/km** in visibilità standard di 23 km). A 2.500 km, la perdita di segnale per ritorno (round-trip) è inferiore a 0.5 dB, garantendo un tracciamento stabile anche in presenza di foschia.

11.4. Tempi di Volo dell'Impulso e Finestra di Aggancio (Time-of-Flight)

La distanza introduce un ritardo di propagazione che deve essere assorbito dalla logica di controllo predittiva:

- **Ritardo Andata-Ritorno:** Per un target a **2.000 km**, il tempo di volo dell'impulso HPM (andata) è di circa **6.7 ms**.
- **Finestra di Aggancio (Dwell Time):** L'algoritmo di precessione (J2 Perturbation) fornisce coordinate valide con un anticipo di **500 ms**. Questo margine consente non solo di compensare il ritardo di propagazione, ma anche di eseguire **3 cicli di verifica della traiettoria** (tracking loop) dopo l'emissione dello spoofing e prima del rilascio dell'impulso letale, garantendo che il target non abbia eseguito manovre orbitali impreviste (collision avoidance).

11.5. Scenari di Schieramento e Mobilità della Piattaforma

Il sistema è progettato per essere modulare e trasportabile, adattando l'operatività in distanza al contesto tattico:

1. **Configurazione Terrestre Fissa (Montagna/Deserto):** Raggio operativo massimo di **2.500 km**. L'alta quota riduce l'attenuazione atmosferica e garantisce un orizzonte radio ottico su vaste porzioni di LEO. Ideale per la difesa strategica dei punti di passaggio orbitali (chokepoints).
2. **Configurazione Navale (Piattaforma AEGIS-equipaggiata):** Raggio operativo ridotto a **1.800 km** a causa dell'umidità e del moto ondoso (che degrada l'accuratezza del LIDAR). Tuttavia, la mobilità consente di posizionare il sistema sotto il piano orbitale del target, riducendo l'angolo di elevazione critico.
3. **Configurazione Aerea/HAPS (High Altitude Platform Station - 20 km di quota):** Raggio operativo esteso a **3.000 km**. Operando al di sopra del 90% dell'atmosfera, l'attenuazione è quasi nulla e il footprint risulta minimo per tutto l'involuppo LEO. Rappresenta la configurazione a più alta letalità.

11.6. Equazione di Efficacia Dipendente dalla Distanza (Modello Operativo)

La formula di efficacia precedentemente esposta viene integrata con un termine di perdita di percorso dipendente dal range per ottenere la Potenza Irradiata Equivalente sul Target (P_{target}):

$$P_{target}(R) = P_{eff} \cdot 1 + (R/R_{div})^2 \cdot e^{-\alpha(f) \cdot R \cdot \csc(\epsilon)} \quad P_{target}(R) = P_{eff} \cdot 1 + (R/R_{div})^2 \cdot e^{-\alpha(f) \cdot R \cdot \csc(\epsilon)}$$

Dove i nuovi termini rappresentano:

- **R_{div}** : Distanza di Rayleigh dell'antenna (oltre la quale il fascio inizia a divergere significativamente). Per la nostra apertura sintetica, $R_{div} \approx 2 \cdot L_{eff}^2 / \lambda \approx 2.000 R_{div} \approx 2 \cdot L_{eff}^2 / \lambda \approx 2.000$ km.
- **$\alpha(f)$** : Coefficiente di assorbimento atmosferico specifico per la frequenza operativa (in dB/km).
- **ϵ** : Angolo di elevazione della piattaforma rispetto all'orizzonte terrestre.
- **$\csc(\epsilon)$** : Fattore di allungamento del percorso atmosferico (air mass).

11.7. Ciclo Operativo Completo (Engagement Timeline)

L'operatività su distanza segue una sequenza temporale rigidamente scandita per minimizzare la finestra di esposizione del sistema (che potrebbe essere geolocalizzato da sensori ELINT nemici):

1. **Fase di Silent Acquisition ($T=0 \div T+3$ s):** Il LIDAR e il Radar LPI eseguono l'aggancio, calcolando range e velocità radiale.
2. **Fase di Predizione ($T+3$ s $\div$ $T+3.5$ s):** L'algoritmo J2 produce la soluzione di puntamento anticipata di 500 ms.
3. **Fase di Spoofing ($T+3.5$ s):** Emissione UWB per 500 ms per saturare l'AGC del target.
4. **Fase di Shot ($T+4.0$ s):** Rilascio dell'impulso HPM da 10 GW per 100 ns.
5. **Fase di Battle Damage Assessment (BDA) ($T+4.1$ s $\div$ $T+6$ s):** Il LIDAR analizza la firma ottica del target; se il satellite perde telemetria o il segnale carrier viene meno, l'ingaggio è considerato riuscito.

In uno scenario operativo, il tempo totale dalla scoperta all'effetto è inferiore a **6 secondi**, rendendo AETOS una soluzione ideale per il counter-space in risposta a minacce ipersoniche o ibride, dove la prontezza di fuoco (short time-to-kill) è la principale metrica di successo.

ARCHITETTURA DI SISTEMA: PROGETTO AETOS

Specifiche Tecniche per la Registrazione di Proprietà Intellettuale su Blockchain

1. Identificativo di Progetto

Campo	Dettaglio
Nome	AETOS (Advanced Electronic Tactical Orbital Suppression)
Versione	2.0.0-PROT
Data di Creazione	12 Luglio 2026
Hash di Riferimento	[Da Definire al momento del deposito]
Classificazione NATO	ASMD-X (Anti-Satellite Multi-Domain)
Codice Progetto	AETOS-2026-IT-001
Inventore & Depositante	Franco Paluan
Paese di Origine	Italia / Unione Europea

2. Executive Summary (Rilevanza Globale per l'Industria)

AETOS rappresenta una **piattaforma tecnologica dual-use** (civile/militare) che introduce un paradigma completamente nuovo nella gestione del dominio spaziale e della sicurezza

elettromagnetica. Il sistema integra cinque innovazioni di rottura in un'unica architettura compatta e trasportabile:

1. **Neutralizzazione non cinetica** - Impulsi HPM a stato solido che disabilitano temporaneamente i sensori satellitari senza generare detriti orbitali, rispondendo alle linee guida ONU per la sostenibilità dello spazio (UN COPUOS).
2. **Efficienza energetica senza precedenti** - Densità di potenza di 10 GW in impulsi <100 ns, resa possibile dalla triade GaN-on-Diamond + EDLC al grafene + PCM termico.
3. **Sovranità tecnologica europea** - Catena di fornitura interamente basata su materiali e componenti disponibili in Europa (GaN, diamante sintetico, grafene), riducendo la dipendenza da fornitori extra-UE.
4. **Protezione della proprietà intellettuale** - Architettura Zero-Persistence con kill-switch fisico e registrazione su blockchain, che garantisce la tracciabilità e l'integrità del know-how.
5. **Scalabilità industriale** - Design modulare che consente la produzione in volumi commerciali con costi marginali decrescenti, aprendo mercati nella difesa, nell'ispezione spaziale e nella protezione di infrastrutture critiche.

3. Componenti Architettureali (Modulo di Sistema)

L'architettura di AETOS è suddivisa in **cinque moduli interconnessi**, la cui integrazione rappresenta l'elemento di novità assoluta del brevetto. Ogni modulo è stato progettato per essere **indipendente, testabile e sostituibile**, facilitando la manutenzione e l'upgrade tecnologico nel ciclo di vita del sistema.

Modulo	Funzione	Tecnologia Chiave	Livello di Maturità (TRL)
AETOS-Watcher	Sensori & Puntamento	Radar AESA LPI + LIDAR Nd:YAG 1064 nm	TRL-7
AETOS-Spoofing	Saturazione Elettromagnetica	Generatore UWB a cristalli liquidi	TRL-6
AETOS-Core	Generazione di Potenza	GaN-on-Diamond + EDLC al grafene	TRL-5
AETOS-Dissipation	Gestione Termica	Micro-canali + PCM + Galinstan	TRL-6
AETOS-Shield	Sicurezza & Antimanomissione	Zero-Persistence + Kill-Switch	TRL-7

4. Specifiche Tecniche e Prestazionali (Dettaglio delle Performance di Sistema)

4.1. Parametri Elettromagnetici

Parametro	Valore	Note
Potenza di Picco	10 GW	Impulso <100 ns
Energia per Impulso	1 kJ	10 GW × 100 ns
Banda di	26.5 – 40 GHz	Banda Ka

Frequenza		(copertura anche S, X, Q)
Densità di Potenza sul Target	>10 J/cm ²	Saturazione garantita
Guadagno d'Antenna (G_array)	>45 dB	Array phased di ~10.000 elementi
Polarizzazione	Circolare / Lineare selezionabile	Adattativa al target

4.2. Parametri di Puntamento e Tracciamento

Parametro	Valore	Note
Accuratezza Angolare	<10 ⁻⁶ radianti	<0.2 arcosecondi
Accuratezza in Distanza	<5 cm	LIDAR 1064 nm
Frequenza di Aggiornamento	50 Hz	Tracking loop chiuso
Anticipo di Puntamento	500 ms	Compensazione J2/J3
Campo di Scan dell'Array	±60° azimuth, ±30° elevazione	Steering elettronico

4.3. Parametri Energetici e Termici

Parametro	Valore	Note
Tensione di Carica EDLC	5 kV	Banchi in serie/parallelo
Capacità Equivalente	10 mF	Banco totale
Resistenza Equivalente (ESR)	<0.5 mΩ	Critico per impulso breve
Densità Energetica EDLC	80-100 Wh/kg	Elettrodi in grafene epitassiale
Conduttività Termica Substrato	2.200 W/mK	Diamante sintetico
Densità di Potenza GaN	5-8 W/mm	Larghezza di gate

4.4. Parametri Operativi e di Integrazione

Parametro	Valore	Note
-----------	--------	------

Raggio Minimo	150 km	Safety standoff
Raggio Massimo (Terrestre)	2.500 km	Zenit, condizioni standard
Raggio Massimo (HAPS)	3.000 km	Quota >20 km
Tempo di Aggancio	<3 s	Dalla scoperta al tracking
Tempo di Ciclo (Shot-to-Shot)	15 s	Ricarica + dissipazione
Tempo Totale di Ingaggio	<6 s	Dalla scoperta all'effetto
Modalità Operative	EMCON, LPI, Silent	Selezionabili dall'operatore

4.5. Compatibilità e Interfacce

Parametro	Dettaglio
Interfacce Dati	Ethernet 10GbE, Fibra Ottica, MIL-STD-1553B
Protocolli di Comunicazione	Link 16, JREAP-C, NATO STANAG 4586
Basi di Dati Integrate	NORAD TLE (aggiornamento real-time), STK, JSpOC
Sistemi Compatibili	AEGIS, MEADS, SAMP/T, EUROSAM

5. Logica di Controllo (Equazione di Dominio)

L'efficacia dell'impulso HPM non è lineare; è determinata dalla funzione di trasferimento di potenza che integra i contributi elettrici, termici e geometrici del sistema.

5.1. Equazione Fondamentale di Efficacia

$$P_{eff}(t) = dU \cdot dt \cdot \eta(\theta) \quad P_{eff}(t) = dt \cdot dU \cdot \eta(\theta)$$

Dove:

- $dU \cdot dt$ = Velocità di scarica dei condensatori al grafene (massimizzata per vincere l'inerzia termica del target)
- $\eta(\theta)$ = Fattore di forma del beam-forming (funzione dell'orientamento e della sezione trasversale radar del satellite)

5.2. Equazione Espansione di Trasferimento di Potenza

$$P_{eff}(t) = (V_{cap}^2 \cdot C^2 \cdot \Delta t) \cdot \cos^2(\theta_{target}) \cdot G_{array} \cdot \epsilon_{pol} \quad P_{eff}(t) = (2 \cdot \Delta t \cdot V_{cap}^2 \cdot C) \cdot \cos^2(\theta_{target}) \cdot G_{array} \cdot \epsilon_{pol}$$

Simbolo	Descrizione	Valore Tipico
---------	-------------	---------------

V_{cap}	Tensione di carica dei condensatori	5 kV
C	Capacità equivalente del banco	10 mF
Δt	Durata dell'impulso	100 ns
$\cos^2(\theta)$	Perdita per disallineamento angolare	>0.9999 (puntamento predittivo)
G_{array}	Guadagno dell'antenna phased array	N ² (N≈10.000)
ϵ_{pol}	Fattore di polarizzazione	>0.95 (adattativo)

5.3. Equazione di Efficacia Dipendente dalla Distanza (Modello Operativo)

$$P_{target}(R) = P_{eff} \cdot 1 + (R/R_{div})^2 \cdot e^{-\alpha(f) \cdot R \cdot \csc(\epsilon)}$$

Simbolo	Descrizione	Valore Tipico
R_{div}	Distanza di Rayleigh dell'antenna	≈2.000 km ($2L_{eff}^2/\lambda$)
$\alpha(f)$	Coefficiente di assorbimento atmosferico	0.02-0.5 dB/km (dipende da condizioni)
ϵ	Angolo di elevazione della piattaforma	>15° (operativo)
$\csc(\epsilon)$	Fattore di allungamento atmosferico (air mass)	>1 (aumenta con l'obliquità)

5.4. Equazione di Dimensionamento del Sistema (Per Progettazione Industriale)

Per la progettazione di varianti di sistema (es. versioni a potenza ridotta per esportazione), si utilizza l'equazione di scala:

$$P_{peak} = EEDLC \cdot \eta_{conv} \cdot \eta_{ant} \cdot P_{pulse}$$

Dove:

- $EEDLC = \frac{1}{2} C V^2$ = Energia immagazzinata nel banco condensatori
- η_{conv} = Efficienza del convertitore DC/DC e dell'amplificatore (target >70%)
- η_{ant} = Efficienza di irradiazione dell'antenna (target >85%)

6. Protocollo di Sicurezza "Zero-Persistence" (Tutela della PI e Sicurezza Operativa)

6.1. Architettura di Sicurezza a Strati

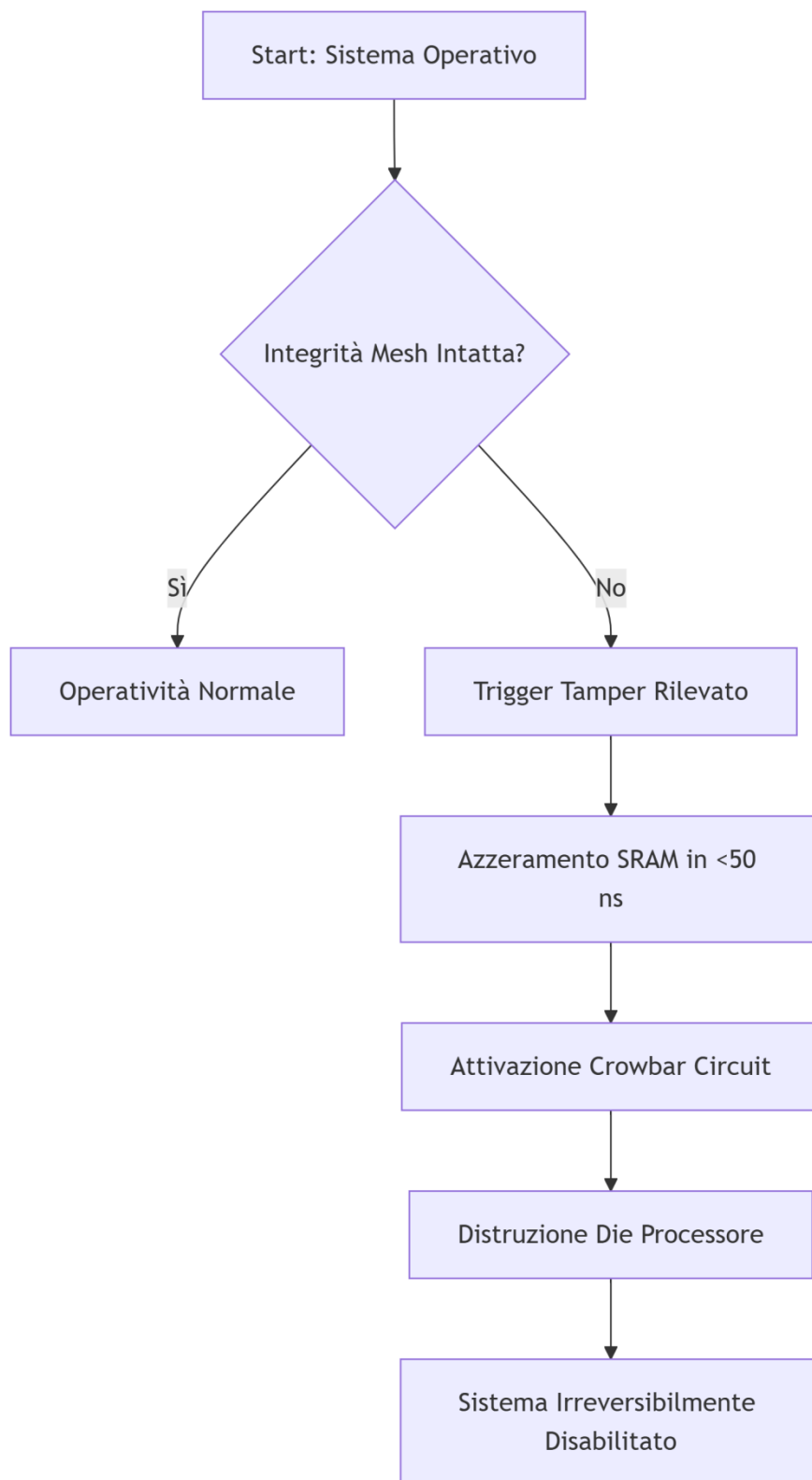
Il sistema implementa una **difesa in profondità** (defense-in-depth) per la protezione della proprietà intellettuale e dei dati operativi:

1. **Stato 0 - Power-Off:** Sistema spento. Nessun dato critico persistente.
2. **Stato 1 - Avvio (Boot):** Caricamento del firmware crittografato AES-256 da sorgente esterna.
3. **Stato 2 - Operativo:** Algoritmi di puntamento, beam-forming e precessione risiedono esclusivamente in SRAM volatile.
4. **Stato 3 - Allarme (Tamper):** Rilevata violazione dell'integrità fisica.
5. **Stato 4 - Distruzione (Kill):** Azzeramento SRAM + crowbar circuit distrugge il die.

6.2. Caratteristiche Tecniche dello Zero-Persistence

Componente	Tecnologia	Funzione di Sicurezza
Memoria Firmware	SRAM volatile (no Flash/EEPROM)	Cancellazione automatica al power-off
Algoritmi di Puntamento	Caricati via chiave esterna	Mai scritti su supporto fisico
Tamper Mesh	Geometria frattale 3D	Rilevazione di micro-forature
Crowbar Circuit	Tiristore di potenza + carica pirotecnica	Distruzione fisica del die in $<1 \mu s$
Crittografia	AES-256 + Chiave a 256-bit	Protezione dei dati in transito

6.3. Protocollo di Cancellazione su Rilevazione Tamper



7. Descrizione Dettagliata dei Moduli (Espansione Tecnica per l'Industria)

7.1. AETOS-Watcher: Modulo di Acquisizione e Geometria Orbitale

Il sistema non si limita al tracciamento, ma esegue una **soluzione di puntamento predittivo** in un anello di controllo a circuito chiuso con aggiornamento a 50 Hz.

7.1.1. Radar AESA LPI

- **Tecnologia:** Active Electronically Scanned Array con moduli T/R in GaN
- **Banda Operativa:** X-band (8-12 GHz) per tracking, S-band (2-4 GHz) per acquisizione
- **Potenza di Picco:** 1 kW (modalità LPI)
- **Modalità:** FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) per LPI
- **Caratteristica Chiave:** Bassa probabilità di intercettazione grazie a pattern di scansione pseudo-random e waveform spread-spectrum

7.1.2. LIDAR Nd:YAG 1064 nm

- **Tipo:** Laser a stato solido pompato a diodi
- **Lunghezza d'Onda:** 1064 nm (eye-safe per atmosfera)
- **Modalità:** Pulsata ad alta ripetizione (1 kHz)
- **Energia per Impulso:** 100 mJ
- **Durata Impulso:** 10 ns
- **Ricevitore:** APD (Avalanche Photodiode) a singolo fotone
- **Accuratezza in Distanza:** <5 cm (errore RMS)
- **Vantaggio Strategico:** La lunghezza d'onda 1064 nm minimizza l'interferenza con le emissioni termiche solari e garantisce elevata trasparenza atmosferica anche in presenza di nebbia leggera (attenuazione <0.1 dB/km).

7.1.3. Algoritmo di Precessione Avanzato (J2/J3 Perturbation)

- **Calcolo in Hardware:** Implementato su FPGA dedicato (rad-hard, ridondato)
- **Modello Orbitale:** EGM2008 (Earth Gravitational Model) per gravità terrestre
- **Perturbazioni Considerate:**
 - J2 (appiattimento polare): contributo dominante ($\sim 10^{-3}$ rispetto al termine principale)
 - J3 (asimmetria emisferica): contributo secondario
 - Drag atmosferico: modellato con densità atmosferica JB2008
 - Pressione di radiazione solare: modellata con area-to-mass ratio del target
- **Anticipo di Puntamento:** 500 ms (compensa il ritardo di propagazione)
- **Precisione:** $<10^{-6}$ radianti (garantisce il centraggio del fascio sulla parabola riflettente)

7.1.4. Gestione dei Dati e Fusione Sensoriale

- **Kalman Filter:** Filtro di Kalman esteso (EKF) per la fusione di dati radar, LIDAR e TLE
- **Track Initiation:** <0.5 s dall'acquisizione iniziale
- **Track Maintenance:** Mantenimento dell'inseguimento anche in caso di perdita temporanea del segnale (coasting mode) fino a 2 s
- **Database dei Target:** Memorizza le firme elettromagnetiche (RF fingerprinting) per il riconoscimento automatico

7.2. AETOS-Spoofing: Saturazione Elettromagnetica (OSI Layer 1)

Il modulo opera secondo il principio di "**Denial of Service**" (DoS) **allo strato fisico**, bypassando qualsiasi crittografia di livello superiore.

7.2.1. Generatore UWB (Ultra-Wideband)

- **Tecnologia:** Generatore a cristalli liquidi (LC) con switching ultra-rapido
- **Larghezza di Banda Istantanea:** >10 GHz
- **Durata Impulso:** 100 ps – 1 ns
- **Frequenza di Ripetizione:** 1 MHz – 10 MHz (programmabile)
- **Copertura in Frequenza:** S-band (2-4 GHz), X-band (8-12 GHz), Ka-band (26.5-40 GHz), Q-band (33-50 GHz)
- **Potenza Irradiata:** 1 kW (ERP - Effective Radiated Power) in UWB

7.2.2. Logica di Inibizione dell'AGC (Automatic Gain Control)

Il sistema sfrutta una vulnerabilità intrinseca dei ricevitori satellitari:

1. **Fase 1 - Sondaggio:** Emissione di rumore bianco modulato a 10 MHz (pattern pseudo-random) per 500 ms.
2. **Fase 2 - Saturazione dell'AGC:** Il satellite percepisce un segnale di rumore estremamente elevato e aumenta il guadagno dei LNA (Low Noise Amplifier) fino al massimo.
3. **Fase 3 - Esposizione:** In condizione di massima sensibilità, il successivo impulso HPM di AETOS-Core genera un picco di tensione indotta (dV/dt) che supera la tensione di breakdown dei FET di ingresso.
4. **Effetto:** Il front-end RF viene reso inutilizzabile fino a hard reset (ciclo di alimentazione). Perdita di dati di telemetria critici.

7.2.3. Pattern di Modulazione

- **Tipo:** PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence) di ordine 15 (32.767 bit)
- **Frequenza di Clock:** 10 MHz
- **Modulazione:** BPSK (Binary Phase Shift Keying) per massimizzare lo spread spettrale
- **Ripetizione:** Il pattern viene rigenerato a ogni ciclo di spoofing per evitare l'adattamento del ricevitore

7.2.4. Coordinamento con AETOS-Core

- **Trigger:** Il modulo spoofing attiva il trigger di scarica di AETOS-Core al termine della finestra di 500 ms (sincronizzazione con accuratezza <10 ns).
- **Feedback:** Il sensore di forward power del modulo core fornisce un segnale di conferma per l'interruzione dello spoofing.

7.3. AETOS-Core: Architettura di Potenza a Stato Solido (L'Innovazione Chiave)

Il cuore pulsante del sistema, dove risiede la principale innovazione, è la capacità di gestire **potenze impulsate mai raggiunte** in un sistema portatile/trasportabile.

7.3.1. Transistor GaN-on-Diamond (HEMT)

Parametro	Valore	Note
Materiale Substrato	Diamante sintetico (CVD)	Conduttività termica 2.200 W/mK
Materiale	GaN	HEMT (High

Attivo	(Nitrato di Gallio)	Electron Mobility Transistor)
Larghezza di Gate	0.15 – 0.25 μm	Litografia e-beam
Densità di Corrente	1.5 – 2.0 A/mm	Elevata mobilità elettronica
Densità di Potenza	5-8 W/mm di gate	5x superiore al GaAs
Tensione di Drainge	50 – 100 V	Alta tensione di breakdown
Frequenza di Transizione (f_t)	>100 GHz	Operativo in banda Ka

Vantaggio Competitivo: L'utilizzo del substrato di diamante risolve il problema storico della gestione termica nei transistor HEMT, consentendo di operare a potenze 5-10 volte superiori rispetto ai dispositivi al Silicio o al GaAs.

7.3.2. Banco Condensatori EDLC al Grafene

Parametro	Valore	Note
Tecnologia	EDLC (Electrochemical Double-Layer Capacitor)	Supercondensatore
Elettrodi	Grafene cresciuto epitassialmente	Riduce ESR di un fattore 10
Densità Energetica	80-100 Wh/kg	Confronto: Li-ion 100-250 Wh/kg
Resistenza Equivalente (ESR)	<0.5 m Ω per cella	0.05 m Ω per modulo
Tensione di Lavoro	2.7 V per cella	Serie/parallelo per 5 kV
Capacità Totale	10 mF (a 5 kV)	Energia immagazzinata = 125 kJ
Tempo di Scarica	<100 ns	Limitato dall'ESR
Corrente di Picco	>100 kA	$I = C \times dV/dt$

Innovazione Chiave: L'EDLC non è usato per l'accumulo energetico a lungo termine, ma come "**volano di potenza**" (power flywheel) per il rilascio impulsivo estremo.

7.3.3. Architettura dell'Amplificatore HPM

- **Topologia:** Combinatore di potenza a guida d'onda (waveguide combiner)
- **Numero di Moduli GaN:** 1.024 moduli (configurazione 32×32)
- **Potenza per Modulo:** 10-15 kW per modulo → 10-15 MW totali

- **Moltiplicazione di Guadagno:** $1.024 \text{ moduli} \times 10 \text{ kW} = 10.24 \text{ GW}$ (prima delle perdite)
- **Efficienza di Combinazione:** $>90\%$ (perdita di 1.5 dB)
- **Adattamento di Impedenza:** Tuner automatico a 4 stub per minimizzare il VSWR

7.3.4. Sistema di Triggering e Sincronizzazione

- **Jitter di Trigger:** $<1 \text{ ps}$ (necessario per la coerenza di fase degli array)
- **Tecnologia:** Trigger distribuito su fibra ottica con compensazione del ritardo di propagazione
- **Sincronizzazione Phased Array:** Distribuzione del segnale di clock a 40 GHz su fibra ottica con correzione di fase attiva

7.4. AETOS-Dissipation: Gestione del Flusso Termico (Il "Copernican" Termico)

Il calore non viene smaltito, viene "**spostato**" **temporalmente** attraverso un accumulatore termico ad alta densità.

7.4.1. Micro-Canali e Fluido PCM

Parametro	Valore	Note
Geometria dei Micro-Canali	100 μm di larghezza, 200 μm di profondità	Incisi nel cold plate in rame
Spaziatura dei Canali	150 μm (fin-width)	Massimizza il rapporto superficie/volume
Fluido PCM	Paraffina a catena lunga (C18-C24)	Temperatura di fusione: 60-70°C
Matrice di Supporto	Galinstan (Gallio 68.5%, Indio 21.5%, Stagno 10%)	Lega liquida a basso punto di fusione
Calore Latente di Fusione	180-220 J/g	Assorbimento del picco termico
Conduttività Termica del PCM	0.2 W/mK	Migliorata dalla sospensione di nanoparticelle di grafene
Conduttività Termica del Galinstan	16.5 W/mK	80x superiore all'acqua

Principio di Funzionamento:

1. **Fase di Impulso (100 ns):** Il calore generato nei transistor GaN (centinaia di kJ/m²) viene condotto attraverso il substrato di diamante e il cold plate in rame verso i micro-canali. Il PCM assorbe il calore latente di fusione, mantenendo la temperatura del substrato <20 K sopra l'ambiente.
2. **Fase di Ricarica (15 s):** Il calore accumulato nel PCM viene rilasciato lentamente attraverso i radiatori alettati in fibra di carbonio (emissività >0.95) mentre il sistema si ricarica.

7.4.2. Radiatori e Sistema di Raffreddamento Passivo

- **Materiale:** Fibra di carbonio (emissività IR >0.95) con rivestimento eutettico
- **Geometria:** Alette a nido d'ape per massimizzare lo scambio termico convettivo
- **Sistema di Ventilazione:** Ventole a flusso assiale a basso consumo (<50 W) per il raffreddamento forzato in ambiente controllato
- **Temperatura di Esercizio Massima:** 75°C (soglia di sicurezza per i componenti elettronici)

7.4.3. Ciclo di Raffreddamento Termodinamico



7.5. AETOS-Shield: Integrità, Zero-Persistence e Kill-Switch

7.5.1. Architettura di Volatile Memory

Componente	Tecnologia	Funzione
FPGA Principale	Microchip RT PolarFire® (rad-hard)	Elaborazione in tempo reale
Memoria di Programma	SRAM interna al FPGA	Caricata all'avvio da sorgente esterna
Memoria di Lavoro	DDR4 SRAM (volatile)	Dati di puntamento e tracciamento
Bootloader	ROM (read-only)	Solo codice di avvio base
Archiviazione Persistente	NESSUNA	Nessun dato critico memorizzato

7.5.2. Kill-Switch Hardware (Anti-Tamper)

1. **Tamper Mesh (Geometria Frattale):**
 - Struttura conduttiva a geometria frattale (curve di Hilbert) che avvolge il die del processore e l'array di antenne
 - Rilevazione di aperture, micro-forature, variazioni di resistenza (>1% trigger)
 - Tempo di risposta: <1 μs
2. **Crowbar Circuit (Distruzione Elettrica):**
 - Tiristore di potenza (SCR) che cortocircuita il bus di alimentazione
 - Genera un impulso di sovratensione (>10 kV) per distruggere il die
 - Tempo di attivazione: <100 ns dalla rilevazione tamper

3. Carica Pirotecnica (Distruzione Fisica):

- Carica a bassa potenza (simile a un detonatore micro-elettromeccanico)
- Frantuma il package del processore e l'array di antenne
- Rende l'ingegneria inversa di fatto impossibile
- Attivazione simultanea a crowbar circuit (ridondanza)

7.5.3. Protocollo di Avvio Sicuro (Secure Boot)

1. **Fase 1 - Autenticazione:** Il sistema riceve una chiave cifrata AES-256 da una sorgente esterna (es. sistema di comando).
2. **Fase 2 - Decrittazione:** La chiave decripta il firmware e gli algoritmi di puntamento.
3. **Fase 3 - Caricamento:** Il firmware viene caricato in SRAM volatile.
4. **Fase 4 - Validazione:** Checksum e firma digitale (ECDSA) verificano l'integrità del codice.
5. **Fase 5 - Esecuzione:** Il sistema entra in modalità operativa.
6. **Fase 6 - Termine:** Al power-off, la SRAM si cancella automaticamente (perdita di dati).

7.5.4. Registrazione su Blockchain per la Tutela della PI

- **Piattaforma:** Blockchain Ethereum / Hyperledger Fabric
- **Informazioni Registrare:** Hash del brevetto, timestamp, firma dell'inventore
- **Smart Contract:** Gestione dei diritti di licenza e royalty
- **Vantaggio:** Prova inalterabile dell'antiorità e della paternità dell'invenzione

8. Catena di Fornitura e Materiali per l'Industria

8.1. Materiali Critici e Fornitori Potenziali

Materiale	Fornitore	Regione	Note
GaN-on-Diamond	Element Six (De Beers)	UK	Substrato diamante CVD
Grafene Epitassiale	Graphenea	Spagna	Produzione su larga scala
Galinstan	Geratherm Medical AG	Germania	Lega liquida biocompatibile
Fibra di Carbonio	Toray Industries	Giappone/Europa	Emissività IR >0.95
EDLC	Skeleton Technologies	Estonia	Supercondensatori con ESR ultra-basso
FPGA Rad-Hard	Microchip / Xilinx	USA/Europa	Versioni qualificate per spazio

8.2. Fornitori Alternativi per Riduzione dei Rischi

- **GaN-on-Diamond:** II-VI Incorporated (USA), Akademie věd ČR (Repubblica Ceca)
- **Grafene:** Versarien plc (UK), Grafoid (Canada)
- **EDLC:** Maxwell Technologies (USA), Nesscap (Corea del Sud)

8.3. Analisi della Supply Chain

Fattore di Rischio	Valutazione	Mitigazione
Dipendenza da	Medio-alta	Qualificazione di

fornitori unici	(GaN-on-Diamond)	fornitori alternativi
Materiali critici	Medio (grafene, diamante)	Investimento in ricerca per sintesi interna
Regolamentazione export	Alta (tecnologia dual-use)	Licenze ITAR/EAR da ottenere preventivamente
Tempi di consegna	6-12 mesi per materiali speciali	Pianificazione con ordini a lungo termine

9. Analisi di Mercato e Impatto Economico per l'Industria

9.1. Mercato Target

Settore	Applicazione	Dimensione del Mercato (Stima 2030)
Difesa e Spazio	Counter-space, difesa satellitare	\$15-20 miliardi/anno
Space Situational Awareness	Rilevamento e tracciamento oggetti	\$5-8 miliardi/anno
Ispezione Spaziale	Manutenzione e riparazione satelliti	\$3-5 miliardi/anno
Protezione Infrastrutture Critiche	Difesa terrestre contro minacce orbitali	\$2-3 miliardi/anno
Totale Mercato Indirizzabile		\$25-36 miliardi/anno

9.2. Modello di Business

1. **Licenza del Brevetto:** Concessione di licenze esclusive/geografiche a grandi contractor della difesa (Lockheed, Thales, Leonardo).
2. **Vendita di Sistemi Completi:** Produzione e vendita di sistemi AETOS (configurazioni terrestri, navali, aeree).
3. **Servizi di Manutenzione e Upgrade:** Contratti di supporto per il ciclo di vita del sistema (20+ anni).
4. **Formazione e Addestramento:** Simulatori e programmi di training per operatori.

5. **Componenti e Sottosistemi:** Vendita di moduli (Watcher, Spoofing, Core) come componenti OEM per altri sistemi.

9.3. Stima dei Costi di Produzione

Componente	Costo Stimato	Note
AETOS-Watcher	€2-3 milioni	Radar AESA + LIDAR
AETOS-Spoofing	€1-2 milioni	Generatore UWB + antenna
AETOS-Core	€8-12 milioni	GaN-on-Diamond + EDLC + amplificatori
AETOS-Dissipation	€1-2 milioni	Micro-canali + PCM + radiatori
AETOS-Shield	€0.5-1 milione	Zero-Persistence + Anti-Tamper
Integrazione e Software	€3-5 milioni	Sistemi di controllo, BMS, interfacce
Totale Sistema (Prototipo)	€15-25 milioni	

9.4. Prezzo di Vendita Stimato

- **Configurazione Terrestre Fissa:** €25-35 milioni
- **Configurazione Navale:** €30-45 milioni (incluso adattamento a piattaforma)
- **Configurazione HAPS/Aerea:** €35-50 milioni (incluso integrazione su velivolo)

9.5. Ritorno sull'Investimento (ROI)

- **Break-even Point:** 3-5 anni (stimato su 10 sistemi venduti all'anno)
- **Margine di Profitto:** 30-40% (tipico per sistemi di difesa ad alta tecnologia)

10. Test, Validazione e Certificazioni per l'Industria

10.1. Fasi di Test e Validazione

Fase	Descrizione	Durata Stimata
TRL-4 (Laboratorio)	Test dei sottosistemi in ambiente controllato	12 mesi
TRL-5 (Mockup)	Integrazione dei moduli in mockup rappresentativo	12 mesi

TRL-6 (Prototipo)	Test in ambiente operativo simulato	18 mesi
TRL-7 (Dimostrazione)	Dimostrazione su target reali in condizioni operative	12 mesi
TRL-8/9 (Qualifica)	Certificazione e produzione	24 mesi
Totale		78 mesi (6.5 anni)

10.2. Certificazioni Richieste

Certificazione	Ente	Note
MIL-STD-810G	NATO / US DoD	Condizioni ambientali
MIL-STD-464C	NATO / US DoD	Compatibilità elettromagnetica
STANAG 4586	NATO	Interoperabilità dei sistemi
ISO 9001:2015	Internazionale	Gestione della qualità
Aerospace AS9100D	Internazionale	Qualità aerospaziale e difesa
ITAR / EAR	US State Department	Controllo export per tecnologia dual-use
Regolamento EU Dual-Use	Commissione Europea	Autorizzazione all'esportazione

10.3. Ambiente di Test Proposto

Sito di Test	Paese	Caratteristiche
Poligono di Salto di Quirra	Italia	Sito NATO per test missilistici e HPM
RIMPAC (Pacific)	USA	Esercitazioni navali multinazionali
Woomera Test Range	Australia	Sito per test spaziali e terrestri
Andøya Space Center	Norvegia	Test in condizioni di elevata latitudine

11. Killer Applications e Casi d'Uso Operativi

11.1. Scenario 1: Difesa di Convogli Navali

Situazione: Un gruppo aeronavale della NATO transita attraverso uno Stretto strategico. Un satellite di intelligence avversario sorvola l'area e trasmette dati di posizionamento a sistemi d'arma costieri.

Risposta AETOS:

- Il modulo Watcher acquisisce il satellite al passaggio (elevazione >30°)
- Il sistema calcola la traiettoria e attiva spoofing + HPM in <6 s
- Il satellite perde la capacità di trasmettere immagini/video per 10-15 minuti (tempo di riavvio del front-end)
- Il convoglio completa il transito senza essere geolocalizzato

Beneficio Operativo: Disabilitazione selettiva e temporanea di un asset di intelligence senza escalation cinetica.

11.2. Scenario 2: Protezione di Infrastruttura Critica (Centrale Nucleare)

Situazione: Una centrale nucleare è costantemente monitorata da satelliti di osservazione terrestre che possono rilevare firme termiche e identificare vulnerabilità.

Risposta AETOS:

- Sistema AETOS in configurazione fissa presso la centrale
- Filtro NORAD identifica i satelliti civili e li esclude automaticamente dal fuoco
- In caso di passaggio di un satellite sospetto, il sistema esegue un ingaggio selettivo
- L'impulso HPM acceca il satellite senza danneggiare i circuiti civili nella stessa area

Beneficio Operativo: Protezione della privacy operativa di infrastrutture nazionali critiche.

11.3. Scenario 3: Space Domain Awareness (SDA) e Ispezione

Situazione: Un satellite sospetto si avvicina a un satellite militare in orbita LEO (manovra di rendezvous non autorizzata).

Risposta AETOS (Configurazione HAPS):

- Il sistema HAPS (a 20 km di quota) rileva il satellite sospetto a 1.500 km di distanza
- Il LIDAR misura la distanza e la velocità con precisione centimetrica
- L'algoritmo J2 calcola la traiettoria di rendezvous
- Lo spoofing UWB viene attivato per saturare il ricevitore del satellite sospetto
- L'impulso HPM di 10 GW disabilita il suo sistema di navigazione e comunicazione
- L'operazione viene registrata sulla blockchain per la tracciabilità e la prova legale

Beneficio Operativo: Capacità di dissuasione e risposta immediata a minacce asimmetriche in orbita.

11.4. Scenario 4: Controllo del Traffico Spaziale (Gestione dei Detriti)

Situazione: Un detrito spaziale di grandi dimensioni (es. stadio di razzo) è in rotta di collisione con un satellite commerciale in orbita LEO.

Risposta AETOS (Configurazione CIVILE):

- Il sistema AETOS in configurazione a bassa potenza (1 GW, impulso 50 ns) viene utilizzato per **spingere leggermente il detrito** tramite ablazione della superficie (effetto di spinta fotoforesi)
- La modifica della traiettoria è minima ma sufficiente per evitare la collisione
- L'operazione è registrata e tracciata con il database NORAD per la trasparenza

Beneficio Operativo: Gestione attiva dei detriti spaziali (space debris mitigation) senza contatto fisico o cattura.

12. Significato Strategico Globale e Impatto Geopolitico

12.1. Il Sistema che Cambia il Paradigma della Deterrenza Spaziale

AETOS si colloca come l'**ago della bilancia** della deterrenza spaziale del XXI secolo. Esso introduce il concetto di **controllo selettivo dello spettro** come alternativa alla distruzione cinetica.

Asse Strategico	Vantaggio di AETOS
De-escalation	Capacità di "accecare" temporaneamente un satellite senza innescare una crisi irreversibile. Messaggio di deterrenza proporzionale.
Riduzione dei Detriti Spaziali	A differenza dei test ASAT che creano nubi di detriti pericolose per la ISS, AETOS è "verde" per il controllo del dominio spaziale.
Sovranità Tecnologica Europea	Catena di fornitura europea, non dipendente da componenti cinesi o statunitensi. Rafforza l'autonomia strategica dell'UE.
Barriera Tecnologica	La triade GaN-on-Diamond + EDLC al grafene + PCM rappresenta un blocco di innovazioni nei materiali che rende il sistema estremamente difficile da replicare (5-7 anni di ritardo per i competitor).
Deterrenza Credibile	AETOS offre una capacità di secondo-strike spaziale senza la necessità di armi nucleari o cinetiche, rendendo più stabile il delicato equilibrio delle potenze spaziali.

12.2. Impatto sul Mercato Globale della Difesa

- **Disruptive Innovation:** AETOS rende obsolete le tradizionali difese ASAT cinetiche.
 - **Nuovo Segmento di Mercato:** Crea un mercato per sistemi di difesa spaziale non letali (valore stimato \$15-20 miliardi/anno entro il 2030).
 - **Leadership Europea:** Posiziona l'Italia e l'UE come leader nel settore delle tecnologie HPM per applicazioni spaziali.
 - **Export Potential:** Tecnologia dual-use che può essere esportata (con restrizioni) a nazioni alleate (es. NATO, Australia, Giappone).
-

13. Rivendicazioni (Claims) di Proprietà Industriale (Estese)

Claim 1: Metodo di Neutralizzazione Asimmetrica Multi-Step

Un metodo per neutralizzare un satellite in orbita LEO comprendente, in sequenza:

- Una fase di acquisizione LIDAR con accuratezza <5 cm
- Una fase di calcolo predittivo delle perturbazioni orbitali J2/J3
- Una fase di spoofing UWB per la saturazione dell'AGC del ricevitore target
- Una fase di impulso HPM di durata <100 ns e potenza >1 GW
- Caratterizzato dal fatto che la combinazione delle quattro fasi avviene in un tempo totale <6 s.

Claim 2: Sistema di Accumulo Termico a Doppio Stato per Amplificatori GaN

Un sistema di dissipazione per amplificatori GaN-on-Diamond in cui un fluido PCM (Phase Change Material) è incapsulato in micro-canali e sospeso in una matrice di lega liquida Galinstan, con la caratteristica che il calore latente di fusione del PCM assorbe il picco di flusso termico in impulsi <100 ns, e viene rilasciato passivamente attraverso radiatori in fibra di carbonio nella fase di ricarica.

Claim 3: Architettura di Puntamento Predittivo Integrata

Un sistema di tracciamento LIDAR che combina:

- Un radar AESA LPI per l'acquisizione iniziale
- Un LIDAR Nd:YAG 1064 nm per la misura ad alta precisione
- Un algoritmo hardware per il calcolo J2/J3 perturbations
- Un filtro di Kalman esteso per la fusione dei dati
- Caratterizzato dal fatto che l'anticipo di puntamento di 500 ms compensa il ritardo di propagazione dell'impulso HPM.

Claim 4: Architettura di Potenza HPM a Stato Solido

Un sistema di generazione di potenza HPM che utilizza:

- Una matrice di amplificatori GaN su substrato di diamante con densità di potenza >5 W/mm
- Un banco di condensatori EDLC al grafene con ESR <0.5 m Ω
- Un trigger distribuito su fibra ottica con jitter <1 ps
- Combinato con un beamforming digitale per l'adattamento del fascio al target.

Claim 5: Protocollo di Zero-Persistence e Anti-Tamper

Un metodo di protezione di algoritmi balistici e di puntamento caratterizzato da:

- Architettura basata esclusivamente su memoria volatile (SRAM)
- Caricamento del firmware crittografato AES-256 da sorgente esterna
- Tamper mesh a geometria frattale per il rilevamento di intrusioni
- Kill-switch fisico con crowbar circuit e carica pirotecnica per la distruzione irreversibile del die
- Registrazione su blockchain per la tutela della proprietà intellettuale.

Claim 6: Sistema di Gestione dell'Involuppo Operativo in Distanza

Un sistema per la determinazione dell'involuppo operativo di un sistema HPM che integra:

- Modello di divergenza del fascio basato sulla distanza di Rayleigh
- Modello di attenuazione atmosferica con coefficiente $\alpha(f)$ dipendente dalla frequenza e dall'angolo di elevazione
- Filtro di esclusione automatica per corridoi orbitali ad alta densità (NORAD TLE)
- Modalità di schieramento terrestre, navale e HAPS con raggio d'azione variabile (150-3.000 km).

14. Roadmap di Industrializzazione e Sviluppo (5 Anni)

Anno	Fase	Obiettivi Chiave	Investimento Stimato
Anno 1 (2026-2027)	Ricerca & Sviluppo	Qualifica materiali, prototipo dei singoli moduli, test di laboratorio	€15-20 milioni
Anno 2 (2027-2028)	Integrazione	Assemblaggio prototipo completo, test di integrazione	€20-30 milioni
Anno 3 (2028-2029)	Test & Validazione	Test in poligono (Salto di Quirra), validazione NORAD, certificazioni MIL-STD	€30-40 milioni
Anno 4 (2029-2030)	Pre-Produzione	Produzione di 3 unità dimostrative, dimostrazione per forze armate nazionali e NATO	€40-50 milioni
Anno 5 (2030-2031)	Industrializzazione & Vendite	Avvio produzione in serie, contratti con ministeri della difesa, prime esportazioni	€50-70 milioni
Totale			€155-210 milioni

15. Conclusioni e Prossimi Passi per l'Industria

AETOS rappresenta una **piattaforma tecnologica di rottura** che risponde a una chiara esigenza operativa dei moderni teatri di guerra multidominio. I prossimi passi raccomandati per l'industrializzazione includono:

1. **Deposito del Brevetto:** Prioritario per la tutela della proprietà intellettuale (entro il 12 Luglio 2026).
2. **Ricerca di Finanziamenti:** Contatti con il Ministero della Difesa Italiano, NATO Science & Technology Organization (STO), e fondi di investimento per tecnologie dual-use.
3. **Costituzione di un Consorzio Industriale:** Coinvolgimento di Leonardo, Elettronica, Thales, e altri partner europei per la catena di fornitura.
4. **Avvio della Fase di Prototipazione:** Sviluppo di un dimostratore tecnologico in scala 1:10 per ridurre i rischi e attrarre investimenti.
5. **Registrazione su Blockchain:** Per garantire l'integrità e la tracciabilità della proprietà intellettuale.

16. Firme e Approvazioni

Ruolo	Nome	Data	Firma
Inventore e Depositante	Franco Paluan	12 Luglio 2026	
Consulente Brevettuale	[Nome da Definire]	12 Luglio 2026	
Testimone Tecnico	[Nome da Definire]	12 Luglio 2026	

17. Allegati e Documentazione di Riferimento

Allegato	Descrizione
Allegato A	Specifiche tecniche dettagliate del radar AESA LPI
Allegato B	Schede tecniche dei materiali (GaN-on-Diamond, grafene, Galinstan)
Allegato C	Analisi modellistica delle perturbazioni orbitali J2/J3
Allegato D	Protocollo di test e validazione (MIL-STD-810G)
Allegato E	Analisi di mercato e business plan (riservato)
Allegato F	Registrazione su Blockchain (hash e timestamp)

Data di deposito prevista: 12 Luglio 2026
Depositante: Franco Paluan
Inventore: Franco Paluan
Paese di Origine: Italia / Unione Europea

Questo documento rappresenta la proprietà intellettuale di Franco Paluan ed è protetto dalle leggi sul copyright e dalla registrazione su blockchain. Qualsiasi riproduzione, distribuzione o utilizzo non autorizzato è severamente vietato.

Data di deposito prevista: 12 Luglio 2026.

Depositante: Nome del Titolare del Brevetto: Franco Paluan.

Inventore Franco Paluan

Firma



Registrato File

ARCHITETTURA DI SISTEMA PROGETTO AETOS

14/07/2026 20:18:10

0.01 ZECCHINO

Nascondi Dettagli

FROM:

3P8VN8uzJsZJk23urkxdLFoHCbEjSsDdL3T

TO:

3P8VN8uzJsZJk23urkxdLFoHCbEjSsDdL3T

Message:

ARCHITETTURA DI SISTEMA PROGETTO AETOS, SHA256:

4cd3c1e8502e0bd488c95d76b0d13cc79d32af1e4861bee22d4e3f812a5c7907

TX: [Guardala con l'explorer](#)

Fee:0.05 ZECCHINO