

CAMELEON

SPECIFICA TECNICA DI SISTEMA

Sistema elettro-ottico panoramico per scoperta, classificazione, tracciamento e
contrasto di minacce UAS

con drone intercettore a volo autonomo supervisionato

Versione 2.2

Documento tecnico descrittivo - Patent Pending

Controllo del documento

Campo	Contenuto
Titolo	CamEleon - Specifica tecnica di sistema
Versione	2.1
Finalità	Descrizione tecnica dell'architettura, delle funzioni, dei materiali e delle prestazioni del sistema CamEleon
Classificazione	Documento tecnico proprietario - Patent Pending
Stato	Configurazione tecnica consolidata con parametri prestazionali di progetto

1. Scopo della specifica

La presente specifica tecnica descrive CamEleon, sistema Patent Pending, la sua architettura funzionale e fisica, i sottosistemi che lo compongono, le modalità operative, i materiali impiegati, le prestazioni elettro-ottiche e le logiche di interazione con il drone intercettore. Il documento definisce il funzionamento del sistema nel suo complesso e il modo in cui le componenti ottiche, meccatroniche, elettroniche, software e aeronautiche cooperano per generare consapevolezza della minaccia e supportare l'intercettazione autonoma supervisionata.

CamEleon è concepito come sistema compatto, a basso footprint e riconfigurabile, utilizzabile in configurazione portatile, veicolare o fissa. La medesima architettura può operare nel dominio visibile/NIR o nel dominio infrarosso attraverso la sostituzione degli elementi ottici e riflettenti compatibili con la banda spettrale prescelta, senza modificare il principio di scansione, il controllo meccatronico, la sincronizzazione, la pipeline di elaborazione o le interfacce di comando e controllo.

2. Funzione operativa

CamEleon realizza una sorveglianza elettro-ottica panoramica finalizzata alla scoperta precoce di micro, mini e small UAS. Il sistema osserva in modo ciclico l'intero settore assegnato, associa ogni immagine alla posizione angolare degli specchi, applica algoritmi di intelligenza artificiale per aumentare la capacità di detection, genera e consolida tracce cinematiche e trasferisce al sottosistema di comando le informazioni necessarie alla valutazione della minaccia e all'impiego del drone intercettore.

- protezione di personale appiedato e unità mobili;
- protezione di veicoli, convogli e assetti logistici;
- protezione di infrastrutture critiche e siti sensibili;
- integrazione come nodo elettro-ottico in reti C-UAS o di difesa aerea più ampie;
- impiego autonomo con interfaccia operatore locale o remota.

3. Architettura generale

Il sistema è costituito da un sensore panoramico a due canali ottici, un'unità di elaborazione edge, un sottosistema di gestione delle tracce, un'interfaccia di comando e controllo e uno o più droni intercettori. I blocchi sono connessi da una struttura dati temporizzata che mantiene la correlazione fra direzione osservata, immagine acquisita, detection, traccia, comando e stato dell'intercettore.

Sottosistema	Funzione principale
--------------	---------------------

Testa elettro-ottica	Scansione panoramica, formazione dell'immagine e acquisizione sincronizzata.
Attuazione mecatronica	Orientamento indipendente dei due specchi su azimut ed elevazione.
CamEleon Capture	Acquisizione RAW full-frame, timestamp, trigger e associazione posizione-frame.
Elaborazione automatica	Small object detection, segmentazione, conferma, classificazione, tracking e stima cinematica.
C2/HMI	Presentazione tattica, prioritizzazione delle tracce e supervisione dell'intercettore.
Drone intercettore	Navigazione autonoma, acquisizione terminale, inseguimento e manovra di contrasto.
Comunicazioni	Scambio bidirezionale di tracce, telemetria, comandi, stato e log.

4. Testa elettro-ottica panoramica

4.1 Configurazione a due camere e due specchi

La testa sensore utilizza due camere contrapposte e due specchi orientabili, uno per ciascuna camera. Ogni specchio è movimentato da due attuatori indipendenti e possiede quindi due gradi di libertà: azimut ed elevazione. Gli specchi non sono coassiali rispetto alle camere; la loro posizione e inclinazione sono determinate in modo da riflettere verso ciascun sensore il settore posto sul lato opposto della testa.

Ciascun canale copre indicativamente 180° in azimut e almeno 45° in elevazione. I due canali cooperano per ottenere una copertura panoramica di 360° con tempo di rivisita dell'intero volume compatibile con la dinamica dei target aerei di interesse.

4.2 Principio di scansione

La scena viene suddivisa in direzioni discrete o tile. Per ogni posizione, gli specchi raggiungono l'assetto comandato, completano il tempo di assestamento e la camera acquisisce il frame associato. La sequenza può essere organizzata secondo un percorso serpentino, riducendo gli spostamenti meccanici fra tile consecutivi e mantenendo continuità temporale nella copertura.

- azimut di riferimento per canale: circa -90° / +90°;
- elevazione di riferimento: almeno 45° complessivi;
- griglia operativa tipica: 30 o 40 posizioni per canale, configurabile;
- tempo di posa di riferimento: fino a circa 20 ms, dipendente dalla banda e dalla scena;
- tempo di assestamento meccanico di riferimento: circa 25 ms, ottimizzabile in funzione degli attuatori.

4.3 Configurazione diurna, NIR e infrarossa

L'architettura è predisposta per lavorare con sensori diurni ad alta sensibilità, sensori nel vicino infrarosso e sensori infrarossi termici. Il passaggio da una configurazione diurna/NIR a una configurazione infrarossa non richiede la modifica del principio di funzionamento del sistema: rimangono invariati la struttura portante, gli assi di movimento, il controllo degli attuatori, la sincronizzazione, la logica di scansione e la catena di elaborazione.

La riconfigurazione avviene mediante installazione dell'ottica adatta alla banda e sostituzione degli specchi, o delle relative superfici riflettenti, con materiali e coating aventi elevata riflettività nella banda considerata. La camera viene scelta in funzione della banda spettrale, mentre l'interfaccia meccanica ed elettronica mantiene la stessa impostazione modulare.

Configurazione	Sensore/ottica	Specchi e materiali ottici	Impiego
Diurna / visibile	CMOS ad alta sensibilità, ottiche in vetro ottico con trattamento antiriflesso.	Specchi front-surface in vetro o metallo lucidato, coating protetto per il visibile.	Scenari diurni, elevato dettaglio, classificazione visiva.
NIR	CMOS sensibile NIR, ottiche compatibili 700-1000 nm.	Specchi con coating a elevata riflettività nel visibile-NIR.	Bassa illuminazione, illuminazione attiva o passiva NIR.
LWIR	Microbolometro 8-14 μm con ottica in germanio, silicio o ZnSe.	Specchi metallici o substrati con coating specifico LWIR.	Rilevazione termica, notte, condizioni di illuminazione assente.

4.4 Materiali costruttivi

La costruzione privilegia rigidezza, stabilità termica, contenimento della massa e protezione ambientale. La configurazione può impiegare una combinazione dei seguenti materiali:

- leghe leggere di alluminio o magnesio per telaio, piastre e supporti meccatronici;
- componenti realizzati mediante stampa additiva, in polimeri tecnici o leghe metalliche, per supporti, canalizzazioni, carter, interfacce e geometrie ottimizzate a massa ridotta;
- materiali compositi rinforzati con fibra di carbonio per pannelli e parti a elevato rapporto rigidezza/peso;
- acciaio inossidabile o titanio per alberi, viteria, cerniere e punti localmente sollecitati;
- elastomeri tecnici e smorzatori per isolamento vibrazionale;
- vetro ottico, germanio, silicio, ZnSe o altri materiali trasparenti alla banda di interesse;
- specchi front-surface con coating protettivo selezionato in funzione della banda spettrale;
- guarnizioni e membrane per la protezione da polvere, umidità e condensa.

5. Sensori, ottiche e prestazioni geometriche

5.1 Configurazione diurna di riferimento

La configurazione diurna/NIR utilizza un sensore CMOS ad alta sensibilità, con risoluzione nell'ordine di 8 megapixel e passo pixel nell'ordine di 3 μm . L'ottica viene dimensionata in funzione della copertura e della distanza operativa richiesta, con configurazioni a focale standard o estesa. Il sensore opera in acquisizione RAW full-frame per preservare il massimo contenuto informativo e ridurre il carico di elaborazione non essenziale.

5.2 Criterio pixel-on-target

La capacità di acquisizione iniziale è correlata al numero di pixel proiettati sulla dimensione caratteristica del target. CamEleon assume come soglia geometrica di riferimento almeno quattro pixel sul bersaglio per l'avvio affidabile del processo di detection e consolidamento temporale. La probabilità effettiva di detection dipende inoltre dal contrasto, dalla trasmittanza atmosferica, dalla qualità dell'ottica, dalla banda spettrale, dal moto relativo e dallo sfondo.

5.3 Prestazioni di acquisizione/detection

Target di riferimento	Classe	Dimensione caratteristica assunta	Distanza di acquisizione	Soglia geometrica
-----------------------	--------	-----------------------------------	--------------------------	-------------------

DJI Phantom 4	micro/mini multirotore	circa 0,35 m	fino a circa 1,2 km	almeno 4 pixel sul target
Shahed	UAS ad ala fissa	dimensione caratteristica della sagoma del velivolo	fino a circa 7 km	almeno 4 pixel sul target

Le distanze indicate rappresentano le prestazioni geometriche e operative di riferimento della configurazione ottica dimensionata per il target. Il raggiungimento della soglia dipende dalla focale installata e dalla banda impiegata. Per il target Shahed a lunga distanza è prevista una configurazione ottica dedicata a campo ristretto o focale superiore rispetto alla configurazione panoramica base, mantenendo invariata l'architettura di scansione e trattamento dati.

6. Acquisizione e sincronizzazione

CamEleon Capture utilizza acquisizione continua alla massima velocità sostenibile e associa a ogni evento di scansione il frame temporalmente più vicino al trigger. Questo paradigma mantiene la camera in streaming full-frame e utilizza il trigger come riferimento logico per la selezione del frame, evitando i limiti di latenza del single-shot puro.

Parametro	Valore/descrizione tecnica
Formato primario	RAW8 full-frame
Frequenza robusta	30 Hz per flusso operativo consolidato
Frequenza obiettivo	35 Hz
Frequenza massima best effort	40 Hz, dipendente da camera, SDK e piattaforma
Sincronizzazione	timestamp monotonic, trigger, indice posizione e codifica Gray
Codifica posizione	6 bit Gray, letti in corrispondenza del fronte di salita del trigger
Output	immagine, metadata strutturati, qualità di associazione trigger-frame e stato diagnostico

7. Elaborazione automatica e gestione delle tracce

L'elaborazione automatica è parte integrante della funzione di scoperta: aumenta la sensibilità del sistema rispetto a oggetti di piccole dimensioni e a basso contrasto e non opera soltanto come classificatore successivo. La pipeline elabora i frame di ciascun settore osservato, combina le osservazioni nel tempo e costruisce una traccia persistente con livello di confidenza crescente.

- pre-processing del dato RAW e normalizzazione specifica per la banda spettrale impiegata;
- small object detection ottimizzata per target UAV a ridotta occupazione pixel;
- analisi multi-scala e suddivisione controllata dell'immagine per preservare i piccoli target;
- fusione delle evidenze e gestione della continuità fra settori adiacenti;
- tracking persistente e stima cinematica mediante elaborazione temporale dei dati;
- incremento della confidenza attraverso persistenza, coerenza cinematica e aggiornamenti successivi;
- segmentazione asincrona e analisi di dettaglio per classificazione, riconoscimento e identificazione;
- catene di elaborazione dedicate alle bande visibile/NIR e infrarossa, selezionate in funzione della configurazione del sensore.

La componente di intelligenza artificiale non si limita alla rilevazione e alla classificazione del bersaglio. Le osservazioni successive vengono correlate per ricostruire l'evoluzione temporale della traccia, stimarne direzione, velocità e variazioni di moto e calcolare la traiettoria più probabile. Il sistema determina quindi punti futuri della traiettoria e aggiorna il punto previsto di intercettazione in funzione delle nuove osservazioni, del livello di confidenza e dell'incertezza associata alla stima.

A partire dalle coordinate bidimensionali rilevate nell'immagine, dalla geometria calibrata del sensore, dall'orientamento istantaneo degli specchi, dalla posa del sistema e dalla successione temporale delle osservazioni, CamEleon ricostruisce la posizione tridimensionale stimata del target nello spazio operativo. La trasformazione da immagine 2D a posizione 3D combina vincoli geometrici, informazione angolare, moto apparente e dati cinematici disponibili, producendo coordinate spaziali, vettore di velocità, traiettoria prevista e volume di incertezza. Queste informazioni alimentano il quadro tattico e il calcolo del punto di incontro del drone intercettore.

8. Comando, controllo e rappresentazione tattica

Il sottosistema C2 riceve le tracce generate dal sensore, le rappresenta su una situazione tattica locale e trasferisce al drone intercettore i dati di cueing. La HMI mostra posizione, direzione, classe, confidence, distanza stimata, velocità, rotta, età della traccia, stato del sensore e stato dell'intercettore.

La logica mantiene separati sensing, valutazione della minaccia, autorizzazione, guida e verifica dell'esito. L'operatore conserva la supervisione delle azioni critiche, può autorizzare il lancio, interrompere la missione, imporre un break-off e comandare il rientro.

9. Drone intercettore a volo autonomo supervisionato

9.1 Funzione

Il drone intercettore riceve dal C2 una traccia iniziale, la posizione tridimensionale stimata del target e un volume di intercettazione. Dopo l'autorizzazione al lancio, viene espulso o rilasciato dal canister, assume automaticamente la configurazione di volo ed esegue in autonomia la navigazione verso il punto di incontro previsto. La rotta viene aggiornata sulla base dei successivi punti futuri calcolati da CamEleon; nella fase terminale il velivolo passa alla propria sensoristica di bordo per affinare la soluzione di guida e completare l'intercettazione sotto supervisione dell'operatore.

9.2 Configurazione fisica, lancio e trasporto

Il drone intercettore è progettato con architettura compatta e ripiegabile, idonea all'alloggiamento in un canister di dimensioni ridotte. Il canister protegge il velivolo durante il trasporto, ne mantiene la configurazione pronta all'impiego e supporta una sequenza di lancio rapida, seguita dall'apertura automatica delle superfici o degli organi di volo previsti dalla configurazione aerodinamica.

Il sistema di lancio può essere configurato come unità autonoma, integrato su piattaforma veicolare oppure associato all'equipaggiamento individuale. Nella configurazione per operatore appiedato, il canister può essere trasportato nello zaino o installato mediante interfaccia dedicata al di sotto del fucile, in modo da ridurre il footprint e mantenere disponibile il drone intercettore durante il movimento tattico.

Il drone è concepito come assetto recuperabile e ricaricabile quando il profilo di missione e l'esito dell'intervento lo consentono. La ricarica comprende il ripristino dell'energia di bordo, la verifica funzionale dei sottosistemi, il caricamento dei parametri di missione e il ricondizionamento nel canister. Le parti soggette a usura o impatto sono progettate, per quanto possibile, come elementi sostituibili o ripristinabili.

9.3 Architettura di bordo

Elemento	Funzione
Autopilota	Controllo stabilizzato del volo, navigazione, geofence, rientro e gestione dei failsafe.
Computer di missione	Elaborazione automatica, fusione traccia esterna/interna e generazione dei comandi di guida.
Sensore elettro-ottico	Acquisizione terminale del target nel visibile, NIR o IR in funzione della missione.
Data-link	Ricezione aggiornamenti target e trasmissione telemetria, stato e video/metadati.
Sistema energetico	Batteria, distribuzione di potenza, monitoraggio e gestione dei limiti di missione.
Struttura aerodinamica	Piattaforma multirotore o configurazione adatta all'intercettazione, dimensionata per velocità e manovrabilità.

9.4 Navigazione e guida terminale

La navigazione usa posizione, assetto e velocità del proprio velivolo insieme alla traccia aggiornata del target. La fase terminale combina detection e tracking object-level, dimensione apparente, informazione di moto, optical flow e stima monoculare della distanza. Le stime sono accompagnate da indicatori di qualità e vengono utilizzate solo entro i limiti di affidabilità previsti.

- aggiornamento continuo del punto di intercettazione;
- stima del closing rate e della linea di vista;
- gestione delle occlusioni temporanee e riacquisizione;
- avoidance degli ostacoli e rispetto delle no-go zone;
- abort automatico o comandato in caso di perdita target, perdita link, energia insufficiente o rischio di violazione del geofence;
- rientro automatico verso il punto definito o atterraggio in area sicura.

10. Comunicazioni e interoperabilità

Il sistema utilizza collegamenti bidirezionali per lo scambio di tracce, telemetria, comandi e stato. La struttura software è predisposta per interfacce seriali, Ethernet, USB, radio P2P e protocolli applicativi quali MAVLink, ROS 2/DDS, REST o WebSocket. I messaggi sono timestampati e identificati per mantenere coerenza fra sensore, C2 e intercettore.

11. Alimentazione e gestione termica

L'unità sensore può essere alimentata da batteria autonoma o da sorgenti veicolari a 12/24 VDC. La distribuzione di potenza comprende protezioni, conversione, filtraggio e monitoraggio delle linee. La gestione termica integra dissipatori, heat-pipe, ventilazione controllata e, quando necessario, riscaldamento locale per stabilizzare sensori, ottiche, attuatori e computer di elaborazione.

12. Massa, ingombro e configurazioni di installazione

CamEleon è progettato per mantenere un footprint ridotto e una massa compatibile con impieghi portatili, veicolari e fissi. La massa complessiva della testa sensore, comprensiva di camere, ottiche, specchi,

attuatori, struttura, elettronica di controllo e unità di elaborazione integrata, è inferiore a 10 kg. La configurazione progettuale di riferimento è nell'ordine di circa 5 kg; il valore finale dipende dalla banda spettrale, dalla focale installata, dal livello di protezione ambientale e dagli accessori di montaggio.

Configurazione	Caratteristiche
Portatile / soldier-mounted	Unità compatta trasportabile, alimentazione autonoma e interfaccia operatore mobile.
Veicolare	Montaggio su piattaforma, alimentazione veicolare, integrazione con C2 e sensori di bordo.
Fissa	Installazione su palo, tetto o infrastruttura, alimentazione continua e collegamento di rete.
Distribuita	Più nodi CamEleon cooperanti per estendere copertura, ridondanza e triangolazione.

13. Modalità operative

Modalità	Descrizione
Stand-by	Sistema alimentato, monitoraggio interno attivo, sensori pronti alla scansione.
Scan	Scansione panoramica continua e acquisizione sincronizzata dei tile.
Detect	Generazione di candidate detection e primo consolidamento temporale.
Track	Aggiornamento della traccia, stima cinematica e incremento della confidence.
Classify/Identify	Analisi asincrona di dettaglio, segmentazione e classificazione del target.
Cue Interceptor	Trasferimento della traccia e del volume d'intercettazione al drone.
Intercept	Navigazione autonoma supervisionata e guida terminale.
Abort/Return	Interruzione controllata, disimpegno e rientro in sicurezza.
Degraded	Funzionamento con capacità ridotta e segnalazione delle limitazioni.

14. Sintesi dei parametri principali

Parametro	Valore di riferimento
Copertura panoramica	360° in azimuth con due canali contrapposti
Copertura verticale	almeno 45° complessivi
Architettura ottica	due camere e due specchi, ciascuno movimentato su due assi
Bande supportate	visibile, NIR e infrarosso/LWIR mediante riconfigurazione di ottiche e specchi
Sensore diurno di riferimento	CMOS NIR ad alta sensibilità, circa 8 MP, passo pixel nell'ordine di 3 μ m
Acquisizione	RAW8 full-frame, continuous acquisition e trigger-driven frame selection
Frequenza	30 Hz robusti, 35 Hz obiettivo, 40 Hz best effort
Acquisizione Phantom 4	circa 1,2 km con almeno 4 pixel sul target

Acquisizione Shahed	circa 7 km con almeno 4 pixel sul target e configurazione ottica dimensionata per la missione
Massa sensore	inferiore a 10 kg; configurazione progettuale nell'ordine di circa 5 kg
Intercettore	volo autonomo supervisionato, cueing esterno, tracking terminale e abort/rientro

15. Conclusione tecnica

CamEleon, sistema Patent Pending, integra una testa elettro-ottica panoramica riconfigurabile, acquisizione sincronizzata, funzioni di small object detection, segmentazione, classificazione e tracking, nonché capacità AI di ricostruzione 3D, previsione della traiettoria e calcolo del punto futuro di intercettazione. Il sistema coopera con un drone intercettore a volo autonomo supervisionato, compatto, lanciabile da canister, trasportabile nello zaino o mediante interfaccia sotto-fucile e ricaricabile quando recuperabile. La configurazione a due camere e due specchi biassiali assicura copertura a 360° e mantiene elevata risoluzione sul settore osservato. Il passaggio dal visibile/NIR all'infrarosso avviene sostituendo ottiche e superfici riflettenti compatibili con la banda, senza cambiare il principio mecatronico e software.

Con massa inferiore a 10 kg e configurazione di riferimento nell'ordine di 5 kg, il sistema è compatibile con installazioni portatili, veicolari e fisse. Le prestazioni di riferimento comprendono l'acquisizione di un Phantom 4 fino a circa 1,2 km e di un drone Shahed fino a circa 7 km, con almeno quattro pixel sul bersaglio e ottica dimensionata per la missione.