

*DISPENSE DI*

PROGETTAZIONE OTTICA  
PROGETTAZIONE DI STRUMENTI OTTICI

Cap.14 – HEAD UP DISPLAY

Ing. Fabrizio Liberati

## Cap.14 HEAD UP DISPLAY

### 14.1 Sistemi di visione a testa alta

I sistemi di visione a testa alta (Hud, Head up display) sono dei sistemi di proiezione in cui le informazioni o l'immagine che si vuoi presentare all'utilizzatore, normalmente un pilota di aereo, viene fatta sovrapporre otticamente alla scena esterna al velivolo. In questo modo si riduce il tempo di reazione perché viene eliminato il tempo necessario per la ricerca dello strumento specifico su un cruscotto affollato di altri elementi e perché l'immagine mostrata è collimata e può essere vista perfettamente a fuoco contemporaneamente alla scena esterna.

Gli Hud, fino a poco tempo fa utilizzati esclusivamente in aeronautica militare, sono oggi presenti in quasi tutti gli aerei civili di linea ed iniziano ad interessare anche il mercato automobilistico e ferroviario. Una prima spiegazione di questo fatto è che l'Hud consente di riunire in un unico sistema la parte di visualizzazione di un numero molto elevato di strumenti, consentendo un notevole risparmio economico, di peso e di volume e permettendo all'utilizzatore di essere costantemente informato sui principali dati di navigazione o di guida.

Come ulteriore impiego, in questo caso per ora prettamente militare, alcuni tipi di Hud sono in grado di presentare l'immagine termica ripresa da un FLIR (Forward Looking Infra Red) facilitando la navigazione notturna. Infatti l'immagine mostrata, essendo collimata, può essere osservata sovrapposta alla visione diretta senza problemi di parallasse.

### 14.2 Principio di funzionamento

Un Hud è costituito essenzialmente da un sistema elettronico ed un sistema ottico-meccanico. La figura 14.1 mostra schematicamente gli elementi principali del sistema e le loro interconnessioni logiche o fisiche.

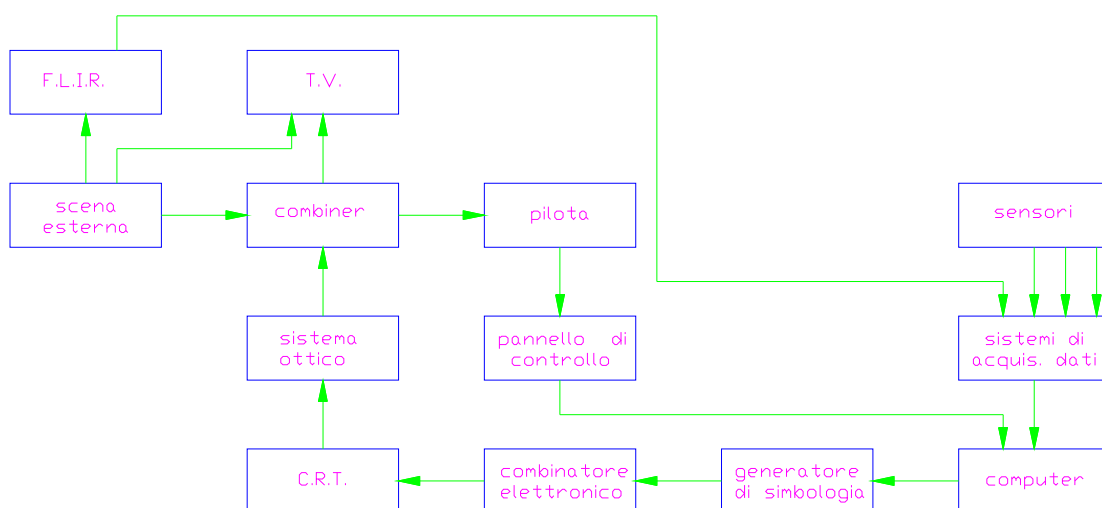
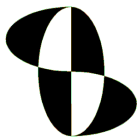


figura 14.1



**OPTO SERVICE srl**

Il sistema elettronico raccoglie ed elabora le informazioni provenienti da vari sensori installati nell'aereo e le invia sotto forma di segnali elettrici ad un tubo a raggi catodici (CRT) per la presentazione sotto forma di simboli convenzionali. I sensori possono essere di vario tipo, come ad esempio di assetto, di quota, di quantità di carburante, di velocità, di accelerazione.

In figura 14.2 è mostrata in sezione una tipica installazione a bordo di un aereo.

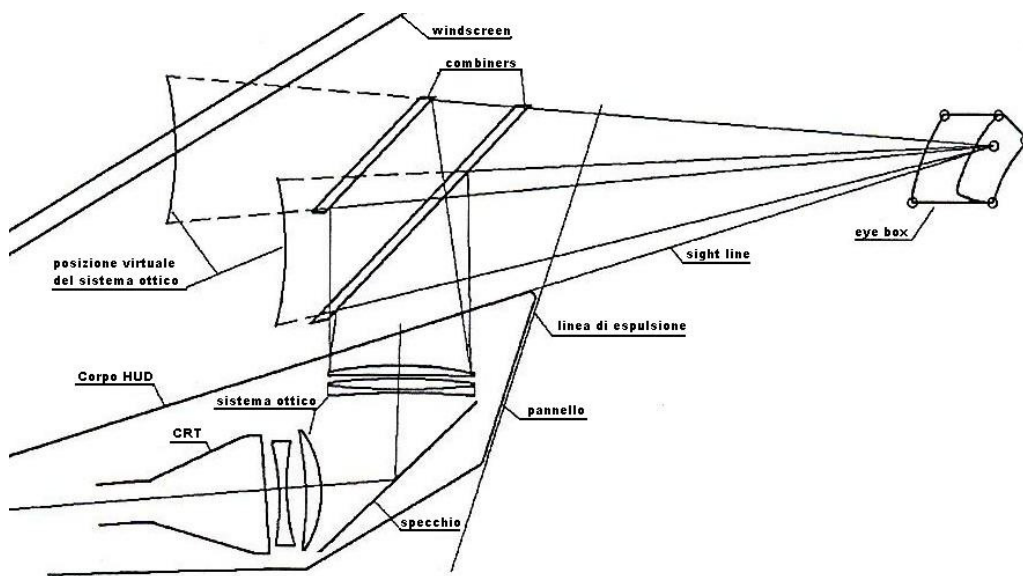


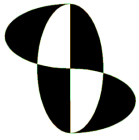
figura 14.2

Il CRT è posto sul piano focale di un sistema ottico che ne collima e ne proietta verso l'alto l'immagine, costituita dai simboli e da tutto quanto viene rappresentato. Subito sopra è posizionato il combiner. Questo è un componente ottico parzialmente trasparente e parzialmente riflettente posto tra il pilota e il parabrezza a circa 45° di inclinazione in modo che il pilota possa vedere sia la scena esterna, sia quanto viene proiettato dal basso.

Il sistema ottico deve essere quasi esente da distorsione, oltre che da parallasse, in modo da consentire una perfetta sovrapposizione con la scena esterna anche durante gli inevitabili movimenti del capo del pilota.

### 14.3 Requisiti di sistema

Le esigenze per un sistema tipo quello che si sta descrivendo, ed in particolare per quanto riguarda la parte ottica, come è facilmente intuibile molto spesso sono strettamente dipendenti dal particolare alloggiamento che l'Hud dovrà occupare. Ad esempio la distanza tra il pilota e il sistema ottico ne determina il diametro necessario per la prima lente. Questa può essere considerata come un'apertura in una parete opaca attraverso la quale si riesce a vedere i simboli proiettati da distanza infinita: il campo di vista che il pilota può vedere senza muovere il capo dalla posizione nominale aumenta con l'apertura del sistema ottico e diminuisce con la distanza tra questo e gli occhi del pilota (*campo di vista istantaneo*). Per questo motivo sarebbe auspicabile installare il sistema il più vicino possibile al



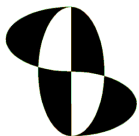
pilota, ma questo negli aerei militari è ostacolato dal fatto che occorre lasciare libera una zona intorno al posto di guida per consentire l'espulsione del pilota in caso di emergenza. Questo problema risulta determinante dal momento che un ampio campo di vista è uno dei requisiti più importanti ed apprezzati in un HUD. Muovendo il capo, il pilota sposta la posizione degli occhi entro uno spazio ben definito detto eye box: in questo modo riesce a vedere un campo di vista maggiore di quello istantaneo. L'involuppo delle direzioni che il pilota riesce a vedere muovendo il capo all'interno dell'eye box deve coprire il *campo di vista totale*. Vale la pena di ricordare che il campo di vista totale è dato dalla (1.7), in cui  $h$  è il raggio del CRT ed  $f$  la focale del sistema ottico, mentre il campo di vista istantaneo dipende solo dalla configurazione di installazione ed in particolare da diametro della prima lente e distanza tra sistema ottico e occhio del pilota. Affinché l'immagine presentata riempi il campo di vista totale, il progettista del sistema ottico deve assumere dei valori congruenti per la focale e le dimensioni dell'immagine. La tecnologia attuale consente CRT con diametri utili dell'immagine del superiori a 70 millimetri con distorsione contenuta. La focale del sistema ottico è determinata di conseguenza e risulta in genere relativamente corta. L' $f$ /numero è basso e quindi il progetto risulta difficile ed il sistema ottico critico, costoso e pesante perché composto di solito di un numero elevato di elementi.

#### **14.4 Requisiti del sistema ottico**

Oltre a garantire un elevato campo di vista, il sistema deve produrre un'immagine brillante, ad alto contrasto, con distorsione e parallasse tali da non generare immagini doppie o false né indurre fastidi di tipo diverso nell'utilizzatore.

I requisiti di brillantezza oltre che alle caratteristiche del CRT, che sono disponibili anche molto luminosi, sono legati alle caratteristiche spettrofotometriche del combiner. L'immagine deve poter essere vista anche in condizioni di elevato illuminamento esterno, e si sarebbe perciò portati a richiedere una elevata riflettività del combiner nella zona spettrale di emissione dei CRT. Questo utilizza normalmente dei fosfori che emettono gran parte della loro energia nel verde. Questo accorgimento è di fatto impraticabile perché provocherebbe delle dominanti di colore inammissibili della scena esterna. Il combiner deve perciò avere una trasparenza uniforme su tutto lo spettro visibile e pari ad almeno il 70% per non ridurre eccessivamente la luminosità.

Requisiti di natura diversa ma che hanno un notevole impatto nel progetto ottico vanno pure considerati. Per rispettare la zona da mantenere libera e per non limitare la visibilità dell'esterno, sono stati pensati congegni diversi atti ad aumentare il campo di vista di proiezione. Questi consistono per lo più in diverse configurazioni geometriche e tipi di combiner: mobile, sferico, a più rinvii, olografico. La soluzione più utilizzata consiste in una opportuna disposizione di due combiner paralleli tra loro, così che ciascuno dei due produca della prima lente un'immagine virtuale spostata di alcune decine di millimetri in altezza e in distanza dall'osservatore (si veda ancora la figura 14.2). In questo modo si realizza una doppia apertura verticale. Il fatto poi che il pilota possa vedere con i due occhi quanto proiettato attraverso il sistema ottico, raddoppia anche in orizzontale



**OPTO SERVICE srl**

l'apertura. Il risultato è un campo di vista istantaneo a forma di doppio otto. La figura 14.3 riporta in coordinate angolari il campo di vista istantaneo risultante (doppio otto) e quello totale (cerchio esterno). Questa soluzione rappresenta un valido compromesso tra costi e campi di vista e nello stesso tempo garantisce i risultati migliori, se abbinata ad un progetto ottico adeguato, per quanto riguarda precisione e assenza di doppia immagine.

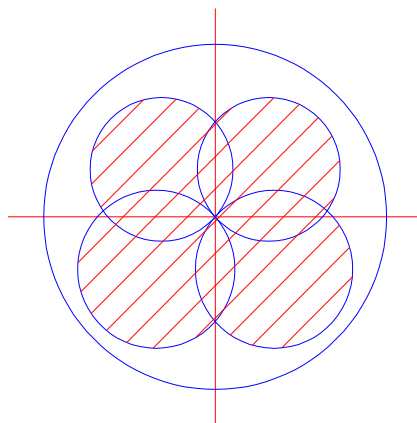
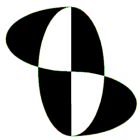


figura 14.3

### 14.5 Progetto ottico

Dal punto di vista del progetto ottico, un sistema per Hud si presenta in modo del tutto particolare. Infatti la presenza e la posizione dell'utilizzatore sono molto importanti perché questi, muovendosi, va ad intercettare zone diverse del fascio di luce proiettato utilizzando istante per istante parti diverse del sistema ottico. Perciò la pupilla del sistema non si può considerare semplicemente la lente di uscita dell'obiettivo di proiezione. Trattandosi di un sistema binoculare a doppio combiner, la pupilla del sistema ottico si può dire istante per istante quadruplicata: sdoppiata in due aperture circolari in corrispondenza della posizione nominale che gli occhi del pilota stanno occupando e sdoppiata in verticale per la presenza dei due combiners. Vanno anche considerate le ulteriori limitazioni che i vincoli meccanici o più in generale la geometria del sistema comportano.

Una conseguenza diretta della necessità della zona libera è che il CRT non può essere disposto verticalmente, cioè in asse rispetto alla lente di uscita, perché in questo modo interferirebbe con la zona libera. Per evitare questo problema di solito si utilizza uno specchio di rinvio nel modulo ottico in modo che il CRT e con esso la parte elettronica si possa sviluppare orizzontalmente. Questa circostanza suggerisce l'utilizzo di uno schema ottico classico tipo Petzval che, come noto, è formato da due gruppi positivi distanziati tra loro, il secondo dei quali è molto vicino al piano focale: nello spazio che si viene a formare tra i due gruppi si può porre lo specchio di rinvio. A questo schema si può dire sia riconducibile la quasi totalità dei sistemi ottici per Hud convenzionali. Il Petzval classico, però, consente di ottenere obiettivi molto luminosi ma risulta ben corretto solo per un campo di vista limitato perché è affetto da curvatura di campo. A questo inconveniente si può porre rimedio ponendo nelle immediate vicinanze del piano focale una lente negativa



**OPTO SERVICE srl**

(detta appunto "field flattener") che consente di aumentare il raggio di curvatura dell'immagine avvicinandola al piano focale.

Va sottolineato che, malgrado la maggior parte di luce emessa dai fosfori del CRT sia verde e pertanto ricada nella zona centrale dello spettro visibile, quantità significative di energia vengono emesse anche nelle zone adiacenti dello spettro, per cui si rende necessaria una buona correzione cromatica. I progetti fatti sinora consideravano un obiettivo come se dovesse essere usato in maniera convenzionale, senza considerare il problema della posizione della pupilla. Alcuni progettisti utilizzando l'approccio del terzo ordine, invece, consideravano la pupilla fuori dall'obiettivo, in posizione intermedia tra il pilota e la prima lente.

Come detto il campo di vista istantaneo dipende dall'installazione, e in particolare dal diametro della prima lente e dalla distanza tra il sistema ottico e il pilota. Qualche volta non si può aumentare il diametro delle lenti per motivi di ingombro, soprattutto nella direzione della profondità. In qualche caso si utilizza allora l'espedito di ingrandire le lenti e praticare degli smussi, come mostrato in figura 14.4

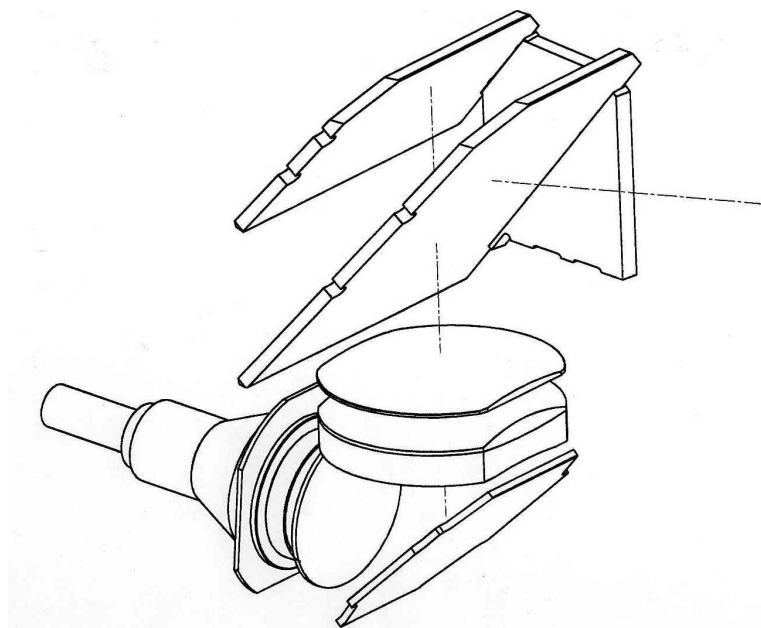


figura 14.4

Gli aerei per il trasporto di passeggeri equipaggiati con HUD hanno spesso installazioni diverse dal tipo appena descritto. In alcuni casi il sistema ottico, o almeno il combiner, è estraibile poichè si utilizza prevalentemente nelle manovre di decollo e di atterraggio consentendo di mostrare l'immagine sintetica della pista in condizioni di scarsa visibilità. Ci sono stati in passato anche numerosi tentativi di installazione di HUD su automobili, che però hanno avuto minore successo per i costi e per la difficoltà di accettare uno strumento ritenuto invasivo.