

Dopo decenni di sviluppo nei laboratori di ricerca, principalmente per il settore militare, i dispositivi per la realtà virtuale e aumentata stanno per sbarcare nel mondo consumer. Vediamo insieme le loro caratteristiche tecniche.

# PIÙ VERO DEL REALE



■ Di Nicola Martello

*Le soluzioni  
di realtà aumentata  
e realtà virtuale*





**U**n Hmd (ovvero *Head Mounted Display*) è una periferica da porre davanti agli occhi, per vedere immagini sintetiche tridimensionali generate da un computer (realtà virtuale, Vr) oppure per vedere simboli e grafiche sovrapposti a ciò che percepiamo dell'ambiente circostante (realtà aumentata, Ar). Alcuni modelli di laboratorio montano anche una o due telecamere che riprendono la scena davanti all'utente, immagini che sono visualizzate dai display interni insieme alla grafica generata dal sistema. Questa configurazione è in sostanza una via di mezzo tra la realtà virtuale e quella aumentata e per ora ha trovato interesse solo nei laboratori di ricerca.



I display per la realtà virtuale sono impiegati a livello professionale nei settori militare, medico e ingegneristico. Sono utilizzabili anche in campo aerospaziale e in tutte quelle situazioni in cui è necessario comandare da remoto un dispositivo robotico che opera in ambienti troppo pericolosi per l'uomo (un campo minato, una centrale nucleare contaminata, l'esterno della Stazione Spaziale Internazionale). Nel settore consumer gli Hmd trovano il loro uso ideale con i giochi 3D in prima persona, ma sono impiegabili anche come display personali per vedere i film. Gli Hmd per la realtà aumentata sono da anni adoperati dai militari (in particolare prima dai piloti di elicotteri e poi di aerei) e solo recentemente hanno riscosso interesse nel settore consumer, principalmente grazie a Google Glass.

### Un po' di storia

Il primo Hmd, progettato dal pioniere della grafica a computer Ivan Sutherland, è stato mostrato all'università di Harvard nel 1968. Il sistema, molto ingombrante e pesante, richiedeva una elaborata struttura di sostegno e non era assolutamente portatile. Gli sviluppi negli anni successivi portarono alla creazione dei primi sistemi di realtà aumentata leggeri e compatti a sufficienza da essere fissati a un casco, ed ebbero applicazioni esclusivamente militari. In pratica servivano a mostrare al pilota di un elicottero da combattimento le informazioni di base relative al punto di mira dell'arma selezionata e a pochi altri elementi utili per il volo con scarsa visibilità (orizzonte artificiale, quota, direzione,

velocità). Soltanto con l'avvento dei primi pannelli a cristalli liquidi con diagonale inferiore ai tre centimetri fu possibile sviluppare sistemi più semplici, leggeri ed economici, proponibili anche al settore consumer. Negli anni '90 del secolo scorso apparvero infatti alcune soluzioni interessanti, che in seguito sfociarono nei primi prodotti per il vasto pubblico. Per esempio nel 1999 Ibm Japan e Olympus Optical dimostrarono il Pc Eye-Trek, con un Hmd di Olympus dotato di un prisma, un filtro ottico e un display Lcd a colori di 0,47" con una risoluzione di 800 x 600 pixel. L'apparato ottico generava immagini ampie 10" che apparivano a circa mezzo metro di distanza. Sempre nello stesso decennio, Microvision sviluppò un sistema più rivoluzionario, basato su un laser

## Il primo Hmd

Risale al lontano 1968 il primo Hmd, progettato da Ivan Sutherland.



**Sony Glasstron**

Il primo Hmd Vr di Sony, presentato nel 1997 e pensato per vedere i film.

## Top gun

I primi Hmd Ar sono stati impiegati dai piloti militari, su elicotteri e aerei.



**Forte Vfx-1**

Nel 1994 Forte mostra al Ces uno dei primi Hmd Vr commerciali.



proiettato direttamente sulla retina dell'occhio, senza alcuno schermo intermedio (più avanti troverete la descrizione dettagliata).

**Le origini degli Hmd** per la realtà virtuale sono comuni a quelle dei dispositivi per la realtà aumentata e i primi hanno avuto una lunga evoluzione nei laboratori di ricerca. Uno dei primi Hmd Vr commerciali è stato Vfx-1 della società Forte (acquisita nel 1997 da Vuzix), che nel 1994 lo ha mostrato in occasione del Ces. Nel 1997 Sony ha presentato il Glasstron evoluto poi nel modello Hmz-T1 e successivamente nel Hmz-T2.

I prodotti di Sony erano pensati più per la visione di film che per applicazioni di realtà virtuale vere e proprie. Stesso scopo hanno i modelli Cinemizer di Zeiss e ST1080 di Silicon Micro Display. Bisogna aspettare il 2012 per vedere i primi prototipi di Rift dell'azienda Oculus Vr, un Hmd con prestazioni avanzate progettato espressamente per la realtà virtuale. Nel 2014 Sony annuncia Project Morpheus, un Hmd a livello prototipale avanzato, con caratteristiche di base simili a Oculus Rift.

### Le caratteristiche di base

Un sistema di visualizzazione per la realtà virtuale o aumentata deve rispondere a numerose esigenze, tutte critiche e per la maggior parte in conflitto tra di loro. Innanzitutto un Hmd deve essere di piccole dimensioni, leggero

e ben bilanciato, inoltre deve produrre un'immagine ampia, ben definita, luminosa e contrastata. Nel caso della realtà aumentata, le immagini devono essere chiaramente visibili anche all'aperto, durante una giornata soleggiata. Il passaggio della realtà aumentata dal settore militare (dove sono nati e dove si è sempre puntato tutto sulla qualità di visione a scapito degli altri requisiti) a quello consumer ha imposto altre due caratteristiche: costo contenuto e un'estetica gradevole, tale da non far sembrare robot o alieni le persone che li indossano. L'Hmd per Ar ideale, infatti, dovrebbe somigliare il più possibile a un comune paio di occhiali da sole e consentire di vedere la realtà circostante con in sovrapposizione dati, immagini e video, secondo i principi della realtà aumentata. Parliamo di occhiali da sole perché è utile, soprattutto in esterni con il sole, smorzare la luce esterna per migliorare la visibilità delle immagini generate dal display. Molti Hmd montano lenti scure, fotocromatiche o con otturatore elettronico, e anche i Google Glass hanno tra gli accessori le lenti da sole. Un Hmd per applicazioni Vr deve essere binoculare, a differenza di uno per la realtà aumentata che può essere monoculare. Di più, dovrebbe essere stereoscopico, anche se i dispositivi più economici spesso sono solo monoscopici, cioè mostrano la stessa immagine ai due occhi. Un'altra caratteristica opzionale (che però diventa obbligatoria per gli Hmd migliori) è la capacità di misurare la

posizione e l'angolazione della testa, così il sistema può cambiare la scena virtuale in sincrono con i movimenti dell'utente. A differenza dei sistemi per la realtà aumentata, gli Hmd Vr è bene che isolino completamente l'utente dall'ambiente circostante, quindi devono essere dotati di una maschera morbida che aderisce al viso.

Inoltre l'Hmd deve essere più leggero possibile e non deve sporgere molto, per non sbilanciare i movimenti della testa.

**Per capire quanto gli Hmd attuali** si avvicinino all'ideale è necessario conoscere, almeno per sommi capi, le caratteristiche dell'occhio umano. L'angolo di visione del singolo occhio è pari a 120° in verticale e 150° in orizzontale, quindi un Hmd ideale dovrebbe produrre un campo di visione (Fov, *Field of View*) vicino a questi valori. Ma un'ampiezza tale richiede anche un'elevata risoluzione delle immagini, dato che una persona con una acuità visiva standard è in grado di vedere dettagli ampi un minuto d'arco (60 minuti d'arco formano un grado), pari a un oggetto grande un millimetro posto a una distanza di sei metri.

Questa acuità vale per la fovea, una zona circolare della retina posta in modo da essere al centro del nostro campo di visione e che fornisce la massima sensibilità ai dettagli. Nelle zone periferiche l'acuità si riduce velocemente man mano che ci si avvicina ai bordi del campo di visione. Se consideriamo un Fov di 70° e una risoluzione di 1.024 x 768 pixel, si ottiene che ogni pixel è



### Sony Hmz-T2

Come il precedente Hmz-T1, anche questo Hmd è pensato per giocare e vedere film.

### Zeiss Cinemizer

L'Hmd di Zeiss impiega due display Oled di 870 x 500 pixel, con un Fov di 30°.



### Silicon Micro Display ST1080

L'Hmd ST1080 è specializzato nella visione dei film e dispone di un display Full Hd.

ampio 4 minuti d'arco, quindi l'utente vedrà chiaramente la griglia dei punti e le linee oblique appariranno molto scalettate. Secondo molti ricercatori, un buon Hmd per Ar dovrebbe avere un Fov di almeno 40° (che salgono a 100° per applicazioni Vr) e un'elevata risoluzione, tale da minimizzare la visibilità dei pixel.

Un'altra caratteristica importante è la dimensione dell'immagine prodotta in corrispondenza dell'occhio, che compie continui movimenti per portare sulla fovea la maggior quantità possibile di dettagli della zona che la persona sta osservando. Il diametro della pupilla varia tra 2 e 8 millimetri a seconda dell'intensità della luce, di conseguenza l'Hmd deve produrre un'immagine (chiamata *pupilla di uscita*) ampia 15-17 millimetri (10 millimetri è considerato il minimo accettabile), per consentire un certo movimento dell'occhio senza che questo perda la visione delle informazioni proiettate.

Infine va tenuta presente anche la distanza minima dell'Hmd dall'occhio: nel caso dei dispositivi per Ar, il minimo è considerato pari a 17 millimetri, ma in genere si cerca di non scendere sotto i 23 millimetri, per lasciare spazio a un'eventuale lente correttiva. Il discorso cambia per gli Hmd Vr, che integrano una regolazione delle diottrie e che quindi sono progettati per arrivare a pochi millimetri dall'occhio, senza occhiali di mezzo.



**Particolare del Hmz-T1: davanti a ogni occhio si trova un piccolo blocchetto che integra sia il display, sia le lenti.**

### Hmd per la realtà virtuale: come è fatto

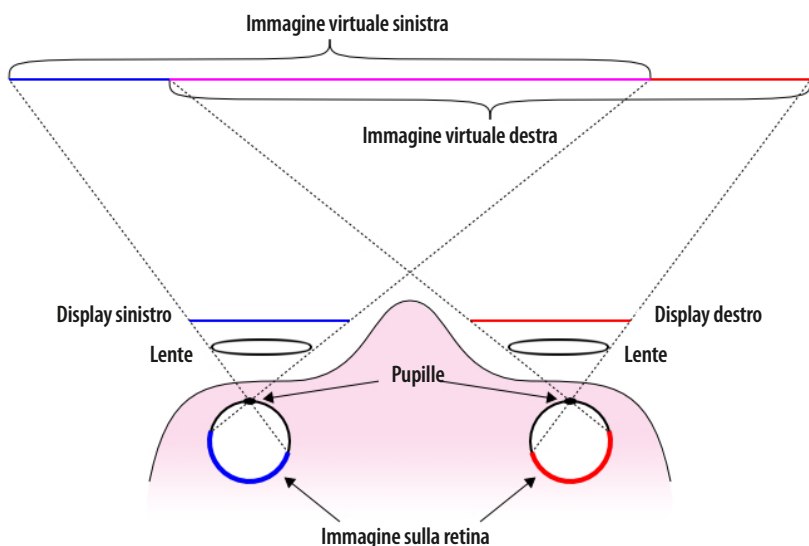
La struttura di un Hmd per la realtà virtuale è, in linea di principio, piuttosto semplice. Un piccolo display è posto davanti all'occhio, a pochi centimetri di distanza, e tra i due sono situate le lenti per far apparire l'immagine come se fosse posta all'infinito (in realtà è sufficiente una distanza virtuale di circa nove metri, tale da ridurre al minimo le differenze d'aspetto degli oggetti osservati con l'occhio sinistro e quello destro). Questa struttura va naturalmente replicata per l'altro occhio.

La pupilla d'uscita deve essere ampia per consentire i naturali movimenti dell'occhio senza perdere di vista la scena. Per ridurre il costo dell'apparecchio, i sistemi

più moderni impiegano un unico display più grande, che mostra le immagini per l'occhio destro e sinistro affiancate e a risoluzione orizzontale dimezzata, secondo una tecnica comune nei video 3D SbS (*Side by Side*). In questo caso le ottiche devono limitare la visione a una sola metà del display e devono includere una lente cilindrica per compensare lo schiacciamento orizzontale della scena.

**I problemi che i progettisti di un Hmd per Vr devono affrontare**, oltre alla risoluzione e all'angolo di visione, sono le sbavature (*blur*) delle immagini in rapido movimento, il ritardo tra i movimenti della testa e le corrispondenti variazioni nella scena, le imprecisioni nella determinazione della posizione e dell'angolazione della testa. Come abbiamo visto, per avere una risoluzione e un angolo di visuale adeguati al nostro sistema visivo, è necessario che ogni pixel appaia ampio un secondo d'arco e che l'angolo sia il più possibile vicino ai 150° in orizzontale (con una sovrapposizione dei due campi visivi destro e sinistro di circa 100°, per la visione binoculare stereoscopica). La combinazione di queste due esigenze è impossibile da soddisfare con la tecnologia attuale e quindi bisogna accontentarsi di scendere a compromessi. In pratica i migliori Hmd odierni impiegano da 10 a 20 pixel per ogni grado (contro i 60 pixel/grado ideali) e hanno un campo

### HMD PER LA REALTÀ VIRTUALE CON DUE DISPLAY



**Sensics ha creato un Hmd con sei display Oled per ogni occhio, disposti in una griglia 3 x 2 e dotati ciascuno di un proprio set di lenti. Il sistema garantisce ampio angolo di visione e risoluzione elevata.**







di visione che va da 60° a 110°. Per aumentare risoluzione e angolo, Sensics ha creato Hmd con sei display Oled per ogni occhio, disposti uno di fianco all'altro secondo una griglia 3 x 2 e ciascuno dotato di un set di lenti indipendente.

**L'impiego di display Lcd**, economici e reperibili in grandi quantità, crea il problema della ridotta nitidezza delle immagini in rapido movimento, particolarmente grave con gli Hmd dotati di sensori di moto, dato che l'utente muove continuamente la testa – sia pure di poco – e le scene devono essere aggiornate di conseguenza. Il blur caratteristico della tecnologia Lcd può essere ridotto ricorrendo a cristalli liquidi particolarmente veloci (display Lcos, Tn) oppure eliminato in maniera radicale grazie a pannelli Oled, più costosi ma molto più performanti anche dal punto di vista cromatico. Una soluzione alternativa, implementata negli Hmd Glyph di Avegant, contempla l'uso di due pannelli a microspecchi che riflettono la luce generata da led, secondo una configurazione molto simile ai proiettori Dlp. Per ora solo a livello teorico, è stata studiata la possibilità di usare un laser che compone le immagini direttamente sulla retina dell'occhio. Questo sistema ha il vantaggio di essere luminoso, ad alta risoluzione e di non richiedere una sezione ottica (il laser è sempre a fuoco), ma i sistemi elettromeccanici necessari per orientare il fascio di luce non sono ancora in grado di fornire prestazioni adeguate.

Il ritardo tra il movimento della testa e l'aggiornamento della scena è un altro problema molto importante, che in passato è stato una delle cause principali del fallimento dei dispositivi consumer per la realtà virtuale. Un ritardo anche di una frazione di secondo, infatti, provoca all'utente una sensazione di disagio, che in breve tempo diventa nausea vera e

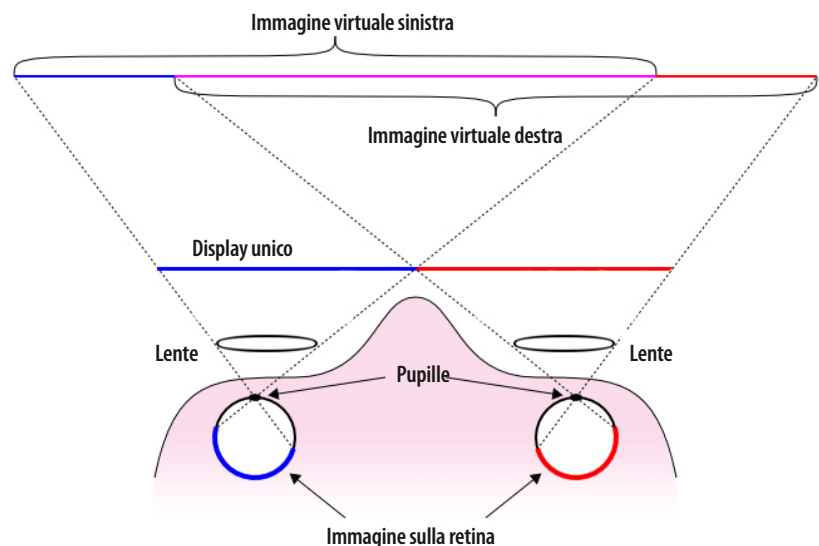
propria. Questo è dovuto allo sfasamento tra gli stimoli visivi e quelli generati dall'orecchio interno, che rileva i nostri movimenti ed è responsabile dell'equilibrio. Per ridurre al minimo questo ritardo è necessario ricorrere ad hardware molto veloce e a software molto ottimizzato, che consentano di limitare il più possibile i tempi di calcolo per la generazione delle scene.

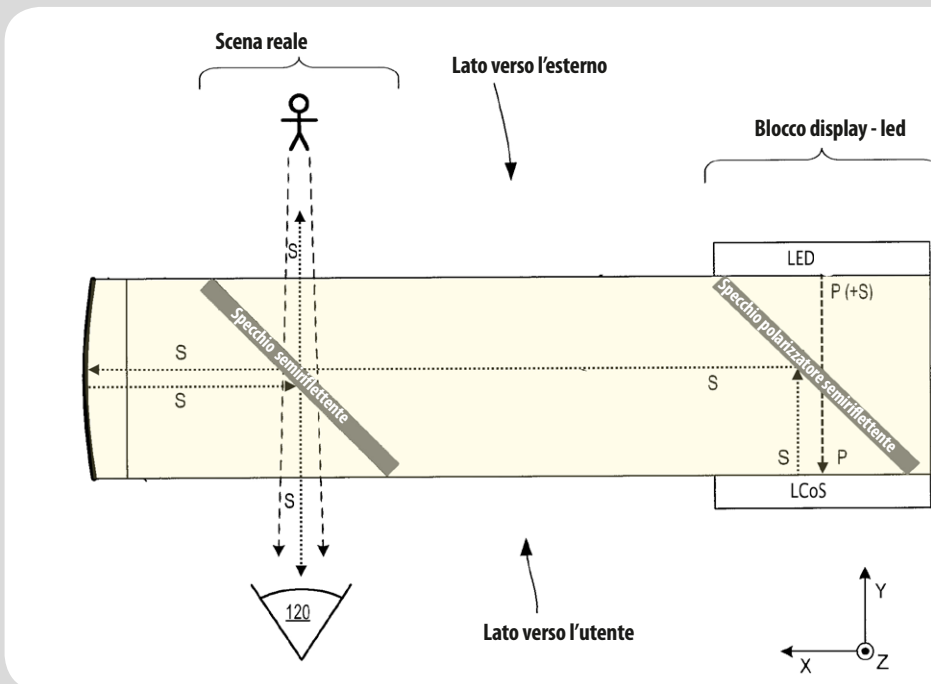
Anche l'ultima esigenza, la precisione di tracciamento della testa (*head tracking*), se non rispettata può comportare malessere nell'utente, sempre per il problema della differenza tra quello che si vede e quello che si percepisce con l'orecchio interno. Per l'*head tracking* si possono usare giroscopi e accelerometri integrati nell'Hmd, una soluzione oggi molto facile ed economica da implementare grazie alle unità Imu (*Inertial Measurement Unit*) miniaturizzate universalmente diffuse

in smartphone e tablet, ma che non può fornire la precisione richiesta e che per di più è soggetta a una deriva costante nel tempo.

Un altro sistema si basa su sensori magnetici posti nell'Hmd, che rilevano un debole campo magnetico generato da un apposito dispositivo situato a poca distanza, oppure più semplicemente sentono il campo magnetico terrestre. Questo metodo, sebbene non abbia deriva, è ancora più impreciso del precedente, inoltre è sensibile ai disturbi causati da oggetti metallici nelle vicinanze. Il terzo metodo è quello ottico: una telecamera – in genere all'infrarosso – riprende l'Hmd che sulla sua superficie ha una serie di punti luminosi o riflettenti (*marker*), così il sistema può individuare con precisione la posizione e l'angolo. Questo approccio garantisce la precisione più elevata ma è anche il più complicato, dato che

## HMD PER LA REALTÀ VIRTUALE CON DISPLAY UNICO





Fonte: Catwrig.com

**Ecco, visto dall'alto, il percorso ottico della luce all'interno di Google Glass: la luce emessa dai led rimbalza sull'Lcos, è deviata dal polarizzatore Pbs, è riflessa prima dallo specchio curvo in fondo al percorso ottico poi dallo specchio semitrasparente, infine arriva all'occhio.**

richiede l'impiego di una telecamera esterna e di algoritmi per calcolare la posizione e l'angolo dell'Hmd in base ai marker rilevati. Inoltre è necessario che un numero minimo di marker sia sempre visibile alla telecamera, quindi l'utente deve stare attento a non mettersi in posizioni in cui l'Hmd apparirebbe nascosto al sensore ottico. Per raggiungere le massime precisione e affidabilità, gli Hmd migliori impiegano una combinazione delle tecnologie appena descritte. L'ultima iterazione dell'Hmd Oculus Rift, per esempio, le implementa tutte e tre.

### Hmd per la realtà aumentata: la sorgente delle immagini

I dispositivi per la generazione della grafica nei primi Hmd Ar erano piccoli tubi catodici in bianco e nero (Crt), ingombranti, pesanti e assetati di energia. Poiché le piccole dimensioni non consentivano l'uso di Crt a colori, in seguito vennero impiegati filtri rotanti colorati, in modo che il sistema producesse le componenti Rgb una alla volta ma in rapida sequenza, secondo una configurazione molto simile a quella dei proiettori digitali Dlp odierni. L'arrivo degli Lcd fu una vera rivoluzione per gli Hmd. Finalmente era possibile creare sistemi leggeri e compatti, che potevano

essere portati non più solo grazie a un casco ma con occhiali speciali, sebbene ancora voluminosi. La disponibilità di led di potenza ha dato ulteriore impulso al settore, dato che queste sorgenti luminose, compatte, efficienti e bisognose di poca energia, hanno permesso di ridurre ulteriormente gli ingombri e il peso.

In alternativa agli Lcd sono usati anche i pannelli Lcos (*Liquid Crystal on Silicon*) e più recentemente gli Oled. Gli Lcd e gli Lcos richiedono di essere illuminati da una lampada (oggi di tipo led), da dietro o da davanti, a seconda che i cristalli liquidi siano di tipo trasmissivo o riflettivo. Per limitare il numero di pixel nel piccolo pannello (di solito con diagonale intorno al centimetro) è prassi comune impiegare la tecnica sequenziale per i colori, come descritto in precedenza. In pratica i led Rgb si accendono uno alla volta, con il display che cambia immagine in sincrono. Il processo avviene naturalmente a frequenza elevata, tale da ridurre al minimo lo sfarfallio cromatico (effetto *rainbow*) percepibile dall'utente. Lo schema di colori in sequenza è adottato anche in Google Glass.

Un Lcos, come quello inserito in Google Glass con una risoluzione di 640 x 360 pixel, oltre ai led richiede anche un elaborato filtro polarizzatore, che consente di ottenere un contrasto maggiore

rispetto agli Lcd. In pratica, il pannello Lcos è costituito da un sottile strato di cristalli liquidi ad allineamento verticale, steso su una superficie di silicio lucidato e riflettente, su cui sono incisi i componenti elettronici necessari (Tft, transistor a film sottile). La luce prodotta dai led passa dapprima attraverso uno specchio polarizzatore semitrasparente (Pbs, *Polarizing Beam Splitter*), che la polarizza e la invia ai cristalli liquidi. La luce rimbalza poi indietro grazie al silicio riflettente sottostante, attraversa di nuovo i cristalli liquidi e torna al Pbs, che, a seconda del piano di polarizzazione delle onde luminose, ne invia una parte all'occhio e una parte alla lampada. La luce il cui piano di polarizzazione è stato ruotato di 90° dai cristalli liquidi attivati (pixel luminoso o "acceso") viene riflessa di 90° dal Pbs e continua verso l'occhio. Le onde luminose che invece non sono state modificate dai cristalli liquidi in stato di riposo (pixel nero o "spento") attraversano indisturbate il Pbs e tornano alla lampada, che quindi funge anche da assorbitore di luce.

**La tecnologia più recente per i display è l'Oled**, che consente una notevole semplificazione della sezione dedicata al generatore di immagini. Non sono infatti necessari né led né filtri polarizzatori, dato che ogni singolo pixel di

# OCULUS RIFT, L'HMD PER LA REALTÀ VIRTUALE

La società Oculus Vr, acquistata nel 2014 da Facebook, sta sviluppando l'Hmd Rift per la realtà virtuale. Fin dalla sua prima presentazione, avvenuta nel 2012, Rift ha attirato molta attenzione, sia per le sue caratteristiche avanzate sia per il prezzo previsto, intorno ai 300 dollari. Rift impiega un unico display, inserito in una struttura che ricorda uno strano ibrido tra una maschera da sci e una maschera subacquea e che integra le ottiche che fanno vedere a ciascun occhio solo una metà dello schermo. Il sistema include anche un sistema per rilevare la posizione e l'angolo. Rift è apparso finora in due versioni prototipali, chiamate **Dev Kit 1** e **Dev Kit 2**. Il primo prototipo impiegava un display Lcd con diagonale di 5,6 pollici e un sistema di tracciamento della posizione prodotto da Hillcrest Labs, con tre gradi di libertà e funzionante a una frequenza di 250 Hz. Il peso dell'apparecchio era di 289 grammi. Dopo i primi esemplari, il display è cresciuto a 7 pollici, con una maggiore velocità dei cristalli liquidi e una griglia dei pixel meno visibile grazie alla risoluzione di 1.280 x 800 punti (640 x 800 pixel per ciascun occhio). L'angolo di visione era di 90° in orizzontale.

Il **secondo step evolutivo** è Dev Kit 2, più compatto come forma e dotato di un display Oled Full Hd (960 x 1.080 pixel per occhio) libero da scie di trascinamento. L'angolo visivo è cresciuto a 100°. Anche il sistema di tracciamento ha subito un miglioramento: l'unità Imu di Hillcrest Labs è stata sostituita da una proprietaria, che funziona a 1.000 Hz e usa una combinazione di giroscopi, accelerometri e magnetometri, questi ultimi necessari per compensare la deriva tipica dei primi due. In più, Dev Kit 2 è fornito con una telecamera separata all'infrarosso, che inquadra l'utente con l'Hmd indosso. L'Hmd ha sulla parte anteriore una serie di led infrarossi (coperti dal guscio esterno in Dev Kit 2, a vista nella versione sperimentale **Crystal Cove**), che funzionano da marker e consentono una determinazione molto più precisa della posizione e dell'angolo. La combinazione dei tre sistemi di tracciamento (inerziale, magnetico e ottico) permette di raggiungere una precisione e un'affidabilità molto più elevati per quanto riguarda l'head tracking. Il peso di Dev Kit 2 è salito a 379 grammi. Oculus ha annunciato che nei propri laboratori sta sperimentando Rift con un nuovo display con risoluzione 4K.



Dev Kit 1 montava un display da 7" Hd.

Crystal Cove è il prototipo di Dev Kit 2.



Con Dev Kit 2 la risoluzione passa a Full Hd.



## OCULUS RIFT: COME È FATTO

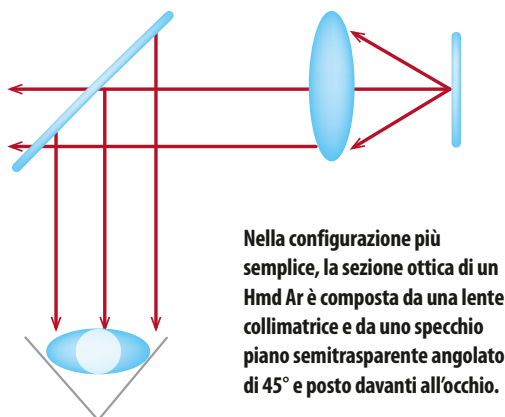


Gli elementi che costituiscono il Dev Kit 1 non sono molti. Da notare i tre set di lenti per la correzione delle diottrie e la scatola esterna di connessione alla sorgente video.

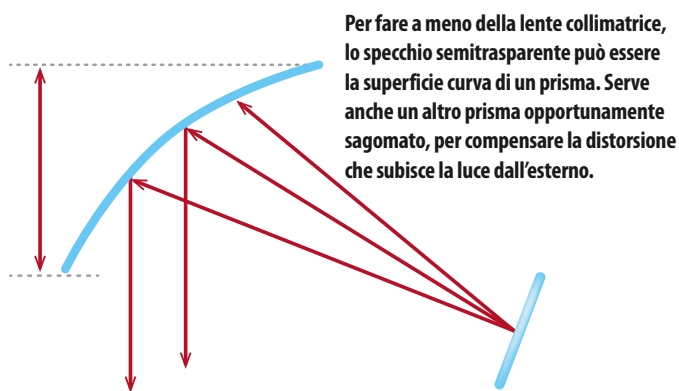
Fonte: iFix.it



### SPECCHIO PIANO SEMIRIFLETTENTE



### SPECCHIO CURVO SEMIRIFLETTENTE



un Oled produce la luce necessaria. Ciò si traduce in peso e ingombro minori, due caratteristiche essenziali per un Hmd. In alternativa alla ruota colore, che riduce a un terzo la luce utile emessa dal display, è possibile impiegare Oled con pixel costituiti da tre subpixel per i colori Rgb, esattamente come nei comuni televisori e monitor. Questo però aumenta di tre volte il numero di celle nel pannello, una configurazione che crea non poche difficoltà a livello costruttivo, vista l'esigua dimensione del display. Un altro problema è il costo del pannello Oled, nettamente superiore a quello di un Lcd e tale da incidere in maniera significativa sul prezzo finale dell'apparecchio.

Come abbiamo già accennato in precedenza, invece di un pannello è possibile usare un laser (o tre laser, per i sistemi a colori), il cui fascio di luce è proiettato direttamente sulla retina dell'occhio. Il laser è molto più luminoso di un Lcd/led o di un Oled ma richiede più energia. Inoltre necessita di un sistema meccanico-ottico (in genere uno specchio mosso con un dispositivo piezoelettrico) per spostare il fascio di

luce attraverso la retina, così da creare un percorso di scansione a linee parallele, esattamente come si faceva con il pennello elettronico nei vecchi Crt. Un limite di questa soluzione è la ridotta pupilla di uscita, problema che ha portato alla costruzione di prototipi in cui il laser disegna l'immagine su un piccolo schermo traslucido, visibile all'utente tramite uno o più elementi ottici. Tale configurazione è molto simile a quelle tradizionali, con il display Lcd sostituito dall'insieme laser/schermo. L'unico prodotto commerciale Hmd laser apparso sul mercato è stato Nomad di Microvision, un dispositivo monocromatico (rosso) e monoculare, con una risoluzione di 1.024 x 768 pixel e peso di 227 grammi. Presentato nel 2002, è stato rivisto e riproposto con il nome Nomad Expert Technician System nel 2004. Il nuovo apparecchio era più leggero e del 40% più piccolo rispetto alla versione precedente. A causa dell'ergonomia limitata e della risposta negativa del pubblico, nel 2006 Microvision ha cessato la produzione di questo Hmd. In occasione del Mwc 2013 Fujitsu ha mostrato il laser Head Set, un Hmd laser con un Fov di 40°.

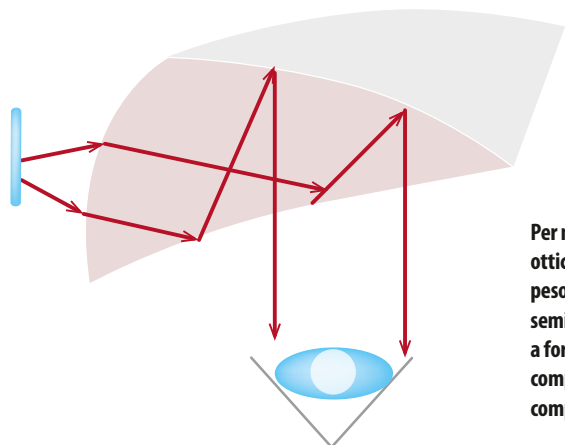
### Hmd per la realtà aumentata: il sistema ottico

L'immagine generata dal display va portata all'occhio, un'operazione per niente semplice se si considerano i numerosi vincoli per un Hmd Ar. Innanzitutto i raggi luminosi devono essere resi paralleli, in modo che l'utente veda l'immagine come se fosse posta a una distanza infinita (in realtà per applicazioni Ar bastano circa sei metri). Se l'immagine fosse troppo vicina, meno di 20 - 30 centimetri, l'occhio si affaticherebbe in breve tempo, sia per lo sforzo di mettere a fuoco dettagli così vicini sia per i frequenti cambi di focalizzazione nel passaggio dagli elementi mostrati dall'Hmd alla realtà circostante e viceversa. Inoltre il display non può stare davanti all'occhio ma solo di fianco o sopra, per non bloccare il campo visivo.

Un altro problema ancora riguarda i sistemi con due display, per entrambi gli occhi: in questo caso i due sistemi ottici devono essere allineati accuratamente, con una corretta convergenza, altrimenti la visione sarebbe troppo faticosa se non addirittura impossibile.

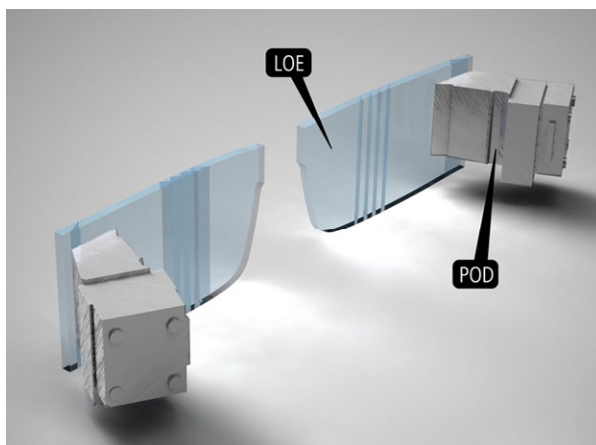


## SPECCHIO A FORMA LIBERA



Per migliorare le prestazioni ottiche globali e ridurre peso e volume lo specchio semitrasparente può essere a forma libera, una superficie complessa calcolata a computer.

Nella configurazione di Lumus per gli Hmd per la realtà aumentata, una serie di incisioni sulla superficie della guida d'onda (Loe) fa uscire davanti all'occhio la luce prodotta dal motore ottico (Pod).



A causa di quest'ultimo problema, di solito gli Hmd per Ar sono solo monoculari, così si riducono anche peso, consumo di energia e costo. Di contro, un sistema Hmd monoculare può creare difficoltà di visione a chi ha una marcata dominanza dell'occhio sinistro sul destro, visto che quasi tutti gli Hmd possono essere indossati solo in corrispondenza dell'occhio destro.

Nei primi Hmd usati in campo militare, pesanti e voluminosi, il display era

un piccolo tubo catodico agganciato al casco e di solito posto di fianco sopra l'orecchio. Questa configurazione richiedeva un percorso ottico lungo e molto arcuato, con numerosi elementi ottici, per seguire la forma della testa. In seguito, con l'arrivo degli Lcd, il display si è spostato sulla fronte, rivolto verso il basso. Questo ha permesso di accorciare e di semplificare di molto il sistema ottico di trasporto delle immagini, ridotto idealmente a una lente per rendere paralleli i raggi



Epson Moverio BT-200 adotta una guida d'onda con incisioni riflettenti.



Anche il modello Ora-S di Optinvent usa una guida d'onda con intagli.



Vuzix M2000AR ha una guida d'onda spessa solo 1,4 millimetri.

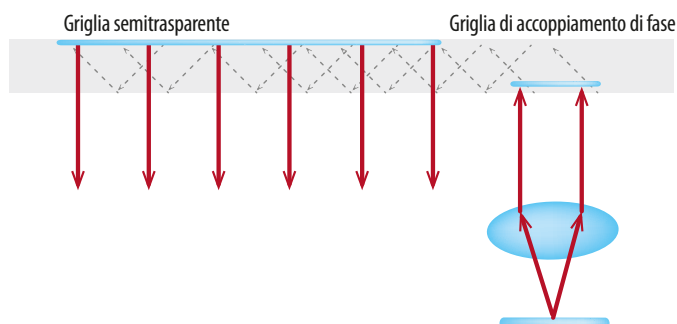


## PROJECT MORPHEUS

*La risposta di Sony a Oculus Rift*

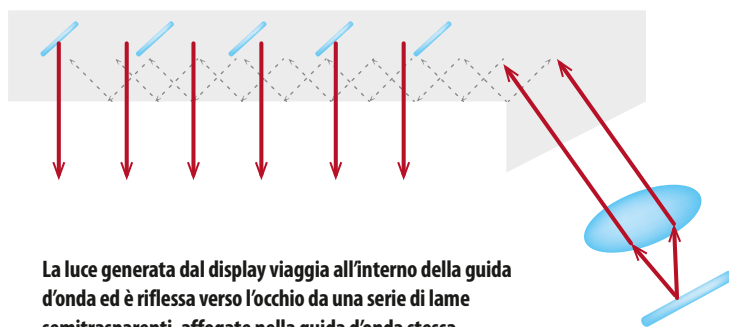
**D**urante il Game Developers Conference 2014, Sony ha presentato il prototipo Project Morpheus, un Hmd per la realtà virtuale pensato per lavorare insieme a PlayStation 4 e che è stato sviluppato negli ultimi tre anni. Il dispositivo impiega un unico pannello Lcd Full Hd (960 x 1.080 pixel per occhio) con diagonale di cinque pollici e un campo visivo pari a 90°. L'unità integra un modulo Imu con giroscopi e accelerometri per misurare la posizione e l'angolo. Al fine di migliorare l'head tracking sarà possibile sfruttare la PlayStation Camera, che riprendendo l'Hmd fornirà al sistema indicazioni più precise riguardo posizione e angolo della testa del giocatore.

## GUIDA D'ONDA E INCISIONI



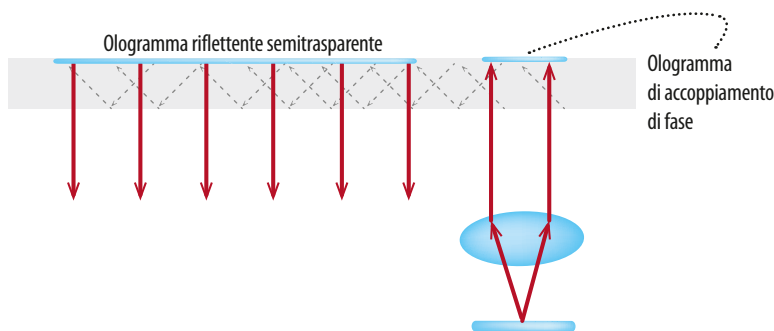
Una serie di piccoli intagli a forma di cuneo fatta sulla superficie esterna della guida d'onda davanti all'occhio fa sì che la luce del display esca verso l'occhio dell'utente.

## GUIDA D'ONDA E LAME SEMIRIFLETTENTI



La luce generata dal display viaggia all'interno della guida d'onda ed è riflessa verso l'occhio da una serie di lame semiriflettenti, affogate nella guida d'onda stessa.

## GUIDA D'ONDA E OLOGRAMMI RIFLETTENTI



Per far uscire la luce dalla guida d'onda, si possono usare ologrammi di volume riflettenti. Gli ologrammi possono essere tre sovrapposti (Rgb) oppure uno solo multicolore.

(collimatore) e a uno specchio semiriflettente angolato di 45° e posto davanti all'occhio. L'Hmd Star 1200XLD di Vuzix è un buon esempio di questa configurazione. Anche Glass di Google adotta un sistema simile - display e specchio semiriflettente a 45° - però

con il display posto di lato e con la lente collimatrice sostituita da uno specchio curvo situato all'estremità del percorso ottico. Il sistema crea un'immagine virtuale ampia 25" a 2,4 metri di distanza, con un Fov di 14°. Da notare che l'architettura di Glass

è una derivazione dei modelli (in particolare l'MV-1 del 2002 creati da Mark Spitzer, fondatore nel 1995 della società MicroOptical. Il fallimento dell'azienda avvenuto nel 2010 ha comportato la cessione dei brevetti a Foxconn, in parte acquistati da Google nel 2013 proprio per portare avanti lo sviluppo di Glass, curato dallo stesso Spitzer assunto in Google X (il centro di ricerche avanzate di Google) nel 2012.

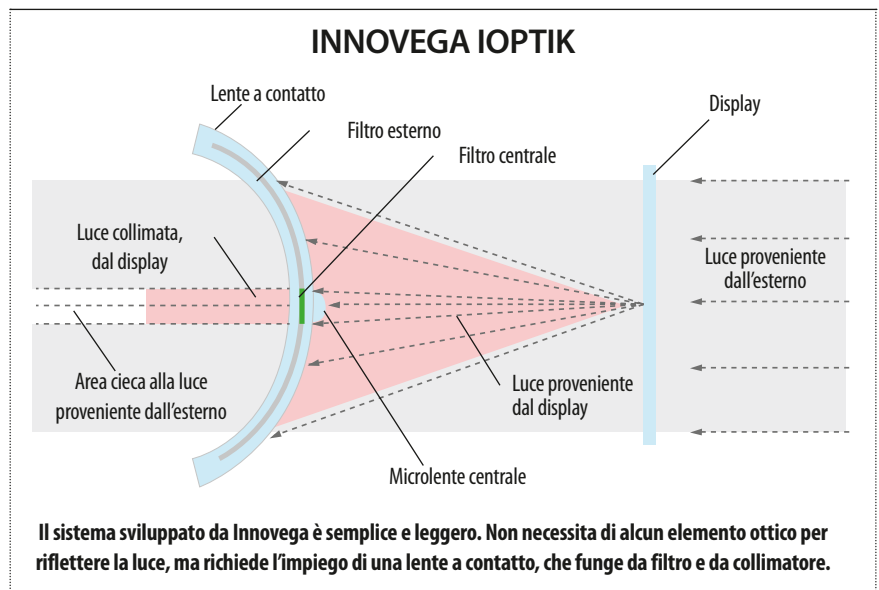
Lo specchio semitrasparente può essere curvo, così da funzionare anche come collimatore. Per dargli solidità, lo specchio è la faccia esterna di un prisma situato davanti all'occhio. Un altro prisma opportunamente sagomato va aggiunto subito dietro lo specchio, per compensare la distorsione che subisce la luce proveniente dall'ambiente circostante. Sebbene l'assieme dei due elementi costituisca una soluzione semplice ed elegante, come è facile intuire risulta ingombrante e pesante ed è poco adatto ai prodotti consumer, mentre è spesso usato nel settore militare. Grazie ai moderni software di calcolo dei percorsi ottici è possibile progettare prismi con la superficie semiriflettente non sferica, asferica o cilindrica ma a forma libera (*free form*), così da migliorare le prestazioni ottiche globali e ridurre peso e volume. Ma in ogni caso l'apparato risulta sempre grosso e pesante. Canon e Verizon/Kopin hanno sviluppato Hmd di questo tipo.

Per alleggerire la struttura incaricata di portare le immagini all'occhio, verso la metà degli anni '80 del secolo scorso alcuni ricercatori e aziende hanno pensato di sfruttare le proprietà ottiche delle guide d'onda, che, nel caso della luce, possono trasportare le onde luminose facendole rimbalzare lungo le pareti interne (Tir, *Total Internal Reflection*), grazie alla riflessione che si verifica quando l'angolo tra il percorso della luce e la perpendicolare alla superficie è superiore a un angolo critico, definito dal rapporto tra gli indici di rifrazione dell'aria e del vetro (o della plastica trasparente), proprio come avviene nelle fibre ottiche. Nel caso degli Hmd con guida d'onda, la luce generata dal display entra nella guida e viaggia al suo interno fino ad arrivare e uscire davanti all'occhio. La guida è molto sottile (il modello



M2000AR di Vuzix, che impiega la tecnologia sviluppata da Nokia, ha una guida spessa solo 1,4 millimetri e può essere anche curva, così da essere leggera, molto poco voluminosa e seguire bene il profilo di un normale paio di occhiali.

Quello che distingue le soluzioni sviluppate finora è il sistema di estrazione della luce dalla guida d'onda. Può infatti essere costituito da una serie di incisioni sulla superficie, da lame semiriflettenti interne, da polarizzatori, da ologrammi di volume riflettenti. Nel primo caso, una serie di piccoli intagli a forma di cuneo, fatta sulla superficie esterna della guida d'onda davanti all'occhio, fa sì che la luce esca verso l'utente, sfruttando sempre le proprietà ottiche delle guide d'onda. Una metallizzazione parziale della superficie migliora la resa complessiva riducendo la dispersione della luce prodotta dal display. Il sistema è stato brevettato da Thomson Csf nel 1991 e impiegato con alcune variazioni da Optinvent (Ora-S), Lumus ed Epson (Moverio BT-100 e BT-200). Questa soluzione è facile da produrre dato che non richiede tecniche costruttive particolari, ma anzi è alla portata dei normali processi produttivi nel campo dei dispositivi ottici. L'unico elemento critico è l'angolazione dei solchi a cuneo, che deve essere molto precisa. La serie di superfici semiriflettenti può essere affogata nella guida d'onda e assume l'aspetto di lame verticali molto sottili (è il secondo caso). Questa soluzione è molto problematica dal punto di vista costruttivo, dato che la guida d'onda deve essere fatta in due blocchi separati e poi uniti in corrispondenza delle lame. A causa delle inevitabili imprecisioni del processo, possono essere presenti difetti visivi come alterazioni



cromatiche ai bordi del campo visivo, ed effetti arcobaleno anche nella zona centrale dell'immagine. Vuzix e Lumus hanno in catalogo Hmd (DK-40 e DK-32 per Lumus) basati su questa configurazione.

**La terza variante** ricorre all'uso di polarizzatori per estrarre la luce (Lumus offre un modello di questo tipo). Il Fov è ampio ma anche in questo caso i costi produttivi sono elevati, poiché i polarizzatori sono composti da 25-30 strati, depositati singolarmente su vetro (la plastica non è utilizzabile per questo processo costruttivo). Inoltre i polarizzatori vanno montati insieme con tolleranze strettissime. Il sistema ha un'efficienza ottica limitata, dato che solo il 30% della luce del display arriva all'occhio, inoltre possono essere visibili aloni colorati.

**L'ultima tipologia costruttiva** con la guida d'onda impiega ologrammi di volume riflettenti ed è stata messa in pratica da Sony e da Konica/Minolta. Anche in questo caso la complessità costruttiva e la precisione richiesta sono notevoli, principalmente a causa dell'estrema selettività cromatica degli ologrammi, che riflettono la luce solo in un intervallo molto ristretto di frequenze. Per questo motivo è prassi comune sovrapporre tre ologrammi (Sony), uno per ciascuna componente

cromatica Rgb, in modo da riflettere in maniera completa la luce prodotta dal display. Un sistema alternativo, più costoso, consiste nel creare l'ologramma con tre esposizioni diverse con i colori Rgb (Konica/Minolta). Gli ologrammi sono molto leggeri, compatti e otticamente efficienti, ma sono delicati e consentono di ottenere un Fov limitato (la riflessione della luce diminuisce all'aumentare dell'angolo), inoltre sono spesso visibili aloni colorati dovuti a interferenze tra i vari colori, soprattutto nel caso dei tre ologrammi sovrapposti, che comportano percorsi ottici leggermente diversi a seconda della componente cromatica.

**Oltre ai sistemi con specchi piani** o curvi e alle guide d'onda, esiste un'altra strada nella creazione di Hmd compatti e leggeri, percorsa dalla società Innovega. Il sistema prevede l'impiego di normali occhiali da sole a cui sono applicati uno o due micro display in corrispondenza delle stanghette e altrettanti piccoli schermi traslucidi a contatto del lato interno delle lenti. Ogni display proietta le immagini sullo schermo davanti all'occhio, senza alcun elemento ottico intermedio incaricato di riflettere o di collimare la luce. Per vedere le immagini a fuoco, l'utente deve mettere una lente a contatto con incastonata al centro una microlente che fa da collimatore. Questa architettura è leggera, molto semplice e ha un Fov di ben 60°, ma la necessità di impiegare lenti a contatto la rende poco adatta a una diffusione di massa nel mercato consumer.

*«Quello che distingue le soluzioni sviluppate finora è il sistema di estrazione della luce dalla guida d'onda»*

