

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902010658A1

Publication Date

20130703

Applicant

PAN-VISION S.R.L.

Title

SISTEMA OTTICO PER L'OTTENIMENTO IN UNA UNICA ACQUISIZIONE DI
UNA IMMAGINE PANORAMICA A 360° E RELATIVI APPARATI PER LA
RIPRESA/PROIEZIONE DI TALE IMMAGINE

- 1 -

SISTEMA OTTICO PER L'OTTENIMENTO IN UNA UNICA
ACQUISIZIONE DI UNA IMMAGINE PANORAMICA A 360° E
RELATIVI APPARATI PER LA RIPRESA/PROIEZIONE DI TALE
IMMAGINE

La presente invenzione si inserisce nel campo dei dispositivi ottici e, in particolare, si riferisce ad un sistema ottico in grado di ottenere in una unica acquisizione (senza l'ausilio, ad esempio, di un sistema motorizzato di scansione) un campo di vista di 360° in azimuth e 105° in elevazione.

Attualmente le camere per visione sono in grado di catturare campi di vista relativamente limitati, come ad esempio il campo di vista V1, mostrato in figura 1, percepito da un osservatore K posto sul piano dell'orizzonte A. Per riprendere lo spazio circostante al campo di vista V1, l'operatore deve puntare fisicamente la camera, manualmente, oppure tramite dei sistemi motorizzati, verso la regione di cui vuole acquisire le immagini.

In una singola acquisizione è possibile vedere, e - nel caso lo si ritenga opportuno - "catturare", ovvero registrare su un supporto (ad esempio un sensore digitale), solamente una piccola parte dell'orizzonte. Per avere una immagine panoramica di una determinata scena, sono necessarie diverse acquisizioni e una successiva rielaborazione delle varie immagini, al fine di unirle fra loro per ottenere la panoramica richiesta.

Tuttavia, questo modo di operare è particolarmente

frustrante quando risulta necessaria una visione panoramica in un istante definito, poiché l'immagine panoramica finale è data dalla sovrapposizione di immagini prese in istanti differenti. Se la scena panoramica è dinamica (con oggetti o persone in movimento), infatti, l'immagine panoramica finale risulta non corrispondente alla realtà ad un dato istante.

In riferimento alle figure 1-4, è indicato con Az l'angolo di vista dell'obiettivo lungo il piano dell'orizzonte A attorno all'asse di azimuth Y, e con El l'angolo lungo la direzione ortogonale al piano dell'orizzonte A, attorno all'asse di elevazione E.

Per quanto riguarda le misurazioni, Az può avere valori da 0° a 360° , mentre El si misura da 0° in corrispondenza dell'orizzonte A, fino a $+90^\circ$ in corrispondenza dello zenith Z o fino a -90° in corrispondenza del nadir N.

Naturalmente, Az ed El possono anche avere valori diversi tra loro. Questo accade, ad esempio, quando il formato del sensore di immagine è rettangolare, oppure quando l'obiettivo è in una configurazione peculiare, detta anamorfica, in cui gli ingrandimenti lungo i due assi sono differenti fra loro.

Tipici obiettivi a grande campo (grandangolari) hanno angoli di Az ed El al massimo di qualche decina di gradi. Obiettivi particolari, detti "*fish-eye*", hanno angoli di vista $Az=360^\circ$ ed $El=+90^\circ$.

Negli ultimi anni sono state sviluppate molte idee per ottenere obiettivi in grado di avere angoli $Az=360^\circ$ ed

El $>90^\circ$, come ad esempio obiettivi panoramici, utilizzando degli specchi di forme particolari in grado di intercettare i raggi di luce provenienti dal di sotto dell'orizzonte.

Queste soluzioni forniscono una estensione significativa dell'immagine ottenibile dal tipico obiettivo denominato "*fish-eye*".

Alcuni esempi si possono trovare in alcuni brevetti anteriori, che nominano come inventore i seguenti: Brueggemann, 1965 (brevetto n. US3203328), Pinzone et al, 1974 (Brevetto n. US3846809), King, 1980 (Brevetto n. US4326775), Rosendahl & Dykes, 1983 (Brevetto n. US4395093), Cox, 1984 (Brevetto n. US4484801), Kreischer, 1985 (Brevetto n. US4561733), Nayar, 1998 (Brevetto n. US5760826). Davis et al, 1998 (Brevetto n. US5841589), in cui si utilizza uno specchio piano anziché curvo.

Nel brevetto anteriore, a nome di Kuroda et al, 1998 (Brevetto n. US5854713), si utilizzano un sistema a due specchi asferici.

I brevetti che nominano come inventore i seguenti: Greguss, 1986 (Brevetto n. US4566763) e Hall & Ehtashami, 1987 (Brevetto n. US4670648), utilizzano un catadiottro anziché uno specchio.

In due brevetti a nome Powell, del 1995 (Brevetto n. US5473474) e del 1997 (Brevetto n. US5631778), si utilizza un catadiottro a più riflessioni, in modo da diminuire l'angolo dei raggi principali e facilitare la correzione delle aberrazioni ottiche.

Alcuni autori hanno sviluppato anche obiettivi

panoramici con capacità di zoom (King, 1981, Brevetto n. US4429957) oppure con differenti risoluzioni all'interno dello stesso apparato (Cook, 1998, Brevetto n. US5710661).

Più recentemente, con l'avvento di sensori digitali e potenze di calcolo appropriate, si sono sviluppati sistemi di visione ottici in accoppiata con algoritmi di calcolo per fornire una immagine panoramica più comprensibile da parte dell'utilizzatore.

Un'applicazione su obiettivi "*fish-eye*" si trova in un brevetto a nome di Poelstra, 1996 (Brevetto n. US5563650).

In un altro brevetto, a nome Wallerstein et al., 2002 (Brevetto n. US6373642) si utilizza un catadiottro sferico con una superficie riflettente per ottenere campi di vista fino a $E_l = -60^\circ$.

I sistemi ottici degli obiettivi descritti in letteratura e sopra citati, hanno una configurazione generica quella mostrata in figura 2, che raffigura una sezione ottenuta lungo un piano ortogonale all'orizzonte.

Il sistema ottico, mostrato genericamente in figura 2 come una "*black-box*", presenta configurazioni diverse a seconda del tipo di applicazione, come descritto nei brevetti citati sopra.

Il sistema generico mostrato nella figura 2 produce una immagine sul piano focale a forma di corona circolare, come visibile in figura 3A.

La dimensione fisica della circonferenza esterna della corona circolare è determinata dalla lunghezza focale

del sistema ottico e scelta quindi in funzione della applicazione, mentre quella relativa (ovvero il rapporto fra il raggio maggiore ed il raggio minore) dipende dalla scelta dell'angolo E_l massimo (in valore assoluto) che si vuole ottenere.

In particolare, le dimensioni dell'area corrispondente al cerchio interno della corona circolare costituiscono l'inconveniente di questo apparato, perché corrispondono alla parte del sensore che non viene sfruttato.

Alcuni autori hanno provato ad ottimizzare l'acquisizione sfruttando anche la parte centrale della corona circolare, catturando la zona cieca vicino al punto di Zenith Z.

Ad esempio, gli inventori Beckstead & Nordhauser, nel 2000 (Brevetto n. US6028719), utilizzano un sistema di lenti per la visione frontale ($90^\circ > E_l > 45^\circ$) e una serie di specchi per quella laterale ($E_l < 45^\circ$), mentre gli inventori Driscoll et al., nel 2002 (Brevetto n. US6341044), utilizzano un catadiottro per la visione laterale ($E_l < 90^\circ$) e un sistema ottico separato per la visione della zona vicina allo Zenith Z.

Nelle soluzioni più moderne summenzionate, si utilizza un catadiottro per catturare i raggi provenienti dagli angoli in elevazione attorno all'orizzonte (anche fino a valori compresi fra $E_l = -60^\circ$ e $E_l = +45^\circ$) mentre un ulteriore obiettivo a più lenti serve a dimensionare il campo di vista sul piano focale ed a correggere le aberrazioni ottiche.

Tuttavia, come si evince dalle figure dei brevetti

citati, il sensore di immagini e la relativa elettronica (e quindi i relativi cavi) sono posti dal lato esterno, ovvero esposti alla vista.

Nel caso della videosorveglianza questo aspetto rappresenta un notevole inconveniente, poiché la telecamera risulta particolarmente vistosa, sia dal punto di vista estetico, sia dal punto di vista della vulnerabilità.

Infatti un malintenzionato che voglia disattivare la telecamera riesce ad individuarla facilmente ed ha direttamente a portata di mano i cavi da recidere.

Inoltre, inevitabilmente tali cavi vanno ad oscurare un'area da riprendere del campo di vista, con ovvie conseguenze.

Ancora, il sensore di immagini ed i relativi cavi - così esposti - possono essere anche soggetti ad urti accidentali durante, ad esempio, operazioni di pulizia o manutenzione nell'ambiente da riprendere.

Un altro inconveniente è dato dal fatto che, volendo utilizzare dei dispositivi accessori, ad esempio per l'ingrandimento di un'area specifica, il loro posizionamento risulta molto difficoltoso.

In particolare, tali dispositivi accessori andrebbero posti in corrispondenza del lato esterno, eventualmente ostacolando l'acquisizione delle immagini da parte del sensore.

Scopo della presente invenzione è, quindi, quello di ovviare agli inconvenienti dell'arte nota testé lamentati e in particolare quello di realizzare un obiettivo ottico per l'ottenimento, in una unica

acquisizione, di un campo di vista di 360° in azimuth. Ulteriore scopo dell'invenzione è quello di realizzare un sistema ottico per l'ottenimento in una unica acquisizione una immagine panoramica a 360° che non sia facilmente riconoscibile.

Ancora, uno scopo dell'invenzione è quello di realizzare un sistema ottico per l'ottenimento in una unica acquisizione una immagine panoramica a 360° in cui il sensore ed i relativi cavi di alimentazione e di trasmissione dei dati risultino nascosti e/o inaccessibili dall'esterno.

Inoltre, uno scopo della presente invenzione è quello di realizzare un sistema ottico per l'ottenimento in una unica acquisizione una immagine panoramica a 360° di facile ed economica realizzazione.

Un altro scopo dell'invenzione è quello di realizzare un sistema ottico per l'ottenimento in una unica acquisizione una immagine panoramica a 360° che permetta di applicare ulteriori dispositivi accessori senza per questo compromettere l'acquisizione delle immagini.

Questi ed altri scopi sono raggiunti da un sistema ottico per l'ottenimento in una unica acquisizione una immagine panoramica a 360° secondo la rivendicazione 1 allegata, cui si rimanda per brevità; ulteriori caratteristiche di dettaglio sono riportate nelle rivendicazioni dipendenti.

Vantaggiosamente, la presente invenzione si riferisce alla realizzazione di un obiettivo ottico in grado di ottenere in una unica acquisizione una immagine

panoramica a 360° , ovvero il campo di vista V2 evidenziato in figura 2, in cui $Az=360^\circ$ e l'angolo El può avere valori anche maggiori di 90° .

La visione risulta istantanea e quindi è possibile registrare correttamente una scena panoramica dinamica, con oggetti e persone in movimento.

Ulteriori scopi e vantaggi della presente invenzione risulteranno chiari dalla descrizione che segue, che si riferisce ad un esempio pratico di realizzazione, esemplificativo e preferito, ma non limitativo, dell'obiettivo ottico per l'ottenimento in una unica acquisizione una immagine panoramica a 360° , oggetto dell'invenzione, e dai disegni annessi, nei quali:

- la figura 1 mostra in uno schema tridimensionale il campo di vista percepibile da sistemi ottici secondo l'arte nota;
- la figura 2 mostra in uno schema bidimensionale il campo di vista percepibile da sistemi ottici secondo l'arte nota;
- la figura 3 mostra in uno schema tridimensionale il campo di vista percepibile dal sistema ottico dell'invenzione;
- la figura 3A mostra in uno schema bidimensionale il campo di vista percepibile dal sistema ottico dell'invenzione;
- la figura 4 mostra in sezione il sistema ottico dell'invenzione, in una sua forma di realizzazione preferita;
- la figura 4A mostra in uno schema bidimensionale il campo di vista percepibile dal sistema ottico di figura

4.

In riferimento alla figura 4, sono mostrati:

- un raggio 14, evidenziato da una linea continua, proveniente da un oggetto posto in corrispondenza dell'orizzonte, in cui $El=0^\circ$,
- un raggio 13, evidenziato da una linea tratteggiata, proveniente da un oggetto posto al bordo superiore del campo $El+$,
- un raggio 15, evidenziato da una linea tratto-punto, proveniente da un oggetto posto sotto l'orizzonte $El-$, ad un angolo compreso fra l'orizzonte e il Nadir.

Il sistema ottico 20, secondo l'invenzione, comprende un elemento ottico o catadiottro 3, un primo gruppo ottico 30, un sensore 18 per l'acquisizione dell'immagine, ed un obiettivo 9.

Il primo gruppo ottico 30 comprende un primo gruppo di lenti 4 ed una superficie specchiata 5, assemblate in un supporto 8, preferibilmente metallico, per il fissaggio del gruppo ottico 30 stesso al catadiottro in modo che il primo gruppo di lenti 4 sia posizionato ad una distanza determinata dal catadiottro 3.

In particolare, il supporto 8 è fissato al catadiottro 3 per incollaggio di metallo su vetro.

In una variante di realizzazione del gruppo ottico 30, il primo gruppo ottico 30 è fissato direttamente al catadiottro 3 mediante incollaggio dell'elemento ottico 4.

In un'ulteriore variante di realizzazione del gruppo ottico 30, alternativa o aggiuntiva alla precedente, la superficie specchiata 5 è costituita da un rivestimento

riflettente depositato direttamente sulla superficie esterna della lente 4. In questo caso - vantaggiosamente - si elimina un elemento ottico.

Il catadiottro 3 è in grado di raccogliere i raggi da ogni angolo azimutale (da 0° a 360°) e re-dirigerli verso il primo gruppo ottico 30.

Il catadiottro 3 è sostanzialmente una lente con una prima superficie sferica esterna convessa 1 ed una seconda superficie sferica concava interna 2, e l'obiettivo 9 si trova in posizione contrapposta alla superficie sferica esterna convessa 1 rispetto al catadiottro 3 stesso.

La superficie concava interna 2 presenta una prima area 21, che viene resa riflettente tramite la deposizione di un rivestimento idoneo allo scopo, denominato "coating", ed una seconda area 22, circolare e centrale, attraverso cui i raggi 13, 14, 15 passano, dopo essere stati riflessi dalla superficie specchiata 5.

In corrispondenza della superficie concava interna 2 del catadiottro 3, a raccogliere i raggi in uscita dalla seconda area 22, è presente un obiettivo 9 noto, appositamente progettato per la specifica applicazione desiderata, secondo tecniche e parametri noti come ad esempio il campo di vista richiesto, la risoluzione spaziale o altro.

L'obiettivo 9 presenta un diaframma 12, cui è fissato solidalmente mediante un comune supporto metallico 10. Naturalmente, l'obiettivo 9 può avere uno stop di apertura o diaframma 12 posto ovunque all'interno del

suo supporto 10.

Il supporto metallico 10 è fissato a sua volta al catadiottro 3 mediante una flangia 11.

Il gruppo di lenti 4 ha lo scopo di ridurre l'angolo di incidenza con cui i raggi arrivano sull'obiettivo 9.

I raggi 13, 14 e 15, compresi fra $E1+$ ed $E1-$ colpiscono la superficie convessa esterna 1 del catadiottro 3 e vengono indirizzati verso la superficie concava interna 2 del catadiottro 3.

La luce viene riflessa dalla superficie 2 e indirizzata di nuovo verso la parte centrale della superficie 1.

I raggi 13, 14 e 15 entrano quindi nel primo gruppo di lenti 4 e vengono riflessi dalla superficie specchiata 5 e re-indirizzati verso l'obiettivo 9.

Si noti che durante questo tragitto i raggi 13, 14 e 15 ripassano dalle lenti 4 e dal catadiottro 3.

Il sistema ottico 20 produce sul piano focale 18 l'immagine della scena panoramica a forma di corona circolare C, visibile in figura 3A.

In questo esempio particolare, mostrato in figura 4, $E1+$ vale 45° ed $E1-$ vale -60° : il campo di vista globale in elevazione vale quindi 105° .

Prima di raggiungere l'obiettivo 9, i raggi passano attraverso lo stop di apertura o diaframma 12 dell'obiettivo 9, che controlla la quantità di luce che deve entrare nell'obiettivo 9 stesso.

L'obiettivo 9, a sua volta, corregge le aberrazioni ottiche e produce una immagine corretta sul sensore di immagine o piano focale 18.

In figura 4A si mostra l'immagine proiettata sul piano

focale 18 dell'esempio di figura 4.

In particolare, l'immagine dell'oggetto trasmesso dal raggio 13 viene focalizzata nel punto 13', sul bordo esterno della corona circolare C.

Analogamente, le immagini di oggetti posti sull'orizzonte 0 e quindi trasmessi al sistema ottico lungo il raggio 14, oppure immagini di oggetti trasmessi dal raggio 15 vengono formate rispettivamente nei punti 14' e 15' sul piano focale. Il primo gruppo di lenti 4 e la superficie specchiata 5 semi-riflettente sono fissate al catadiottro 3 tramite il loro supporto metallico 8.

In questa prima forma di realizzazione dell'invenzione, appena descritta, la superficie specchiata 5 è completamente riflettente.

In questo modo si ottiene un campo panoramico classico, producendo sul piano focale 18 una corona circolare C come mostrato in figura 3A, con azimuth 360° ed elevazione fra $E1+$ ed $E1-$ ($+45^\circ$ e -60° nell'esempio sopra descritto).

Vantaggiosamente, in questo caso l'obiettivo 9 ed i relativi cavi di alimentazione e di trasmissione dei dati risultano nascosti ed inaccessibili dall'esterno.

In una variante preferita di realizzazione dell'invenzione, la superficie specchiata 5 è resa semi-riflettente, ovvero è in grado di riflettere una parte della luce incidente e di trasmettere la restante parte.

In particolare, ad esempio, la superficie specchiata 5 fa passare il 50% della luce e ne riflette il 50%.

Vantaggiosamente, questa variante realizzativa permette il montaggio di un dispositivo accessorio, come ad esempio un secondo gruppo ottico 40 fissabile al supporto 8 tramite mezzi di connessione, ad esempio mezzi filettati.

In particolare, il gruppo ottico 40 può catturare il campo di vista El' che va da $El-$ (-60° in questo esempio specifico) sino a -90° (in corrispondenza del Nadir N).

Vantaggiosamente, l'immagine prodotta dal secondo gruppo ottico 40 sul piano focale 18 è costituita dal cerchio B, collocato esattamente in corrispondenza del buco della corona circolare C prodotta dal sistema ottico 20.

In questo modo le due immagini prodotte dal sistema ottico 20 e dal secondo gruppo ottico 40, ovvero rispettivamente la corona circolare C ed il cerchio B, si giustappongono perfettamente e l'immagine risultante sarà quella di un campo globale con azimuth di 360° ed elevazione da 270° .

Alternativamente, un altro dispositivo accessorio può comprendere un dispositivo per l'ingrandimento di un'area specifica.

Vantaggiosamente, il sistema ottico 20 dell'invenzione può presentare quindi un angolo di elevazione compreso fra 0° (orizzonte) e -90° (nadir N).

In questo modo il sistema ottico 20 diventa un obiettivo del tipo fisheye di nuova concezione, molto meno distorto dei classici fisheye.

Altrettanto vantaggiosamente, il sistema ottico 20 può

essere utilizzato in proiezione anziché in ripresa.

In questo caso, al posto del piano focale 18 viene posta una diapositiva oppure uno schermo LCD o una qualunque immagine da proiettare; la luce esce dal catadiottro e viene proiettata su una superficie di proiezione (uno schermo o le pareti di una stanza o di un edificio).

La presente invenzione è stata descritta a titolo illustrativo, ma non limitativo, secondo una sua forma preferita di realizzazione, ma è da intendersi che variazioni e/o modifiche potranno essere apportate dagli esperti del ramo senza per questo uscire dal relativo ambito di protezione, come definito dalle rivendicazioni allegate.

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1) Sistema ottico (20) per l'ottenimento in una unica acquisizione di una immagine panoramica a 360°, comprendente un catadiottro (3), un obiettivo (9) ed un sensore di immagini (18) per l'elaborazione digitale di detta immagine;

detto catadiottro (3) comprendendo una lente sferica avente una prima superficie sferica (1) esterna convessa ed una seconda superficie sferica (2) concava interna, dette prima e seconda superficie sferica (1, 2) presentando un rispettivo centro, detti centri definendo un primo asse ottico;

detto obiettivo (9) presentando un secondo asse ottico coincidente con detto primo asse ottico, e comprendendo un diaframma (12) contrapposto a detto sensore di immagine (18);

detto sistema ottico (20) essendo caratterizzato dal fatto che detto obiettivo (9) è fissato a detto catadiottro (3) in corrispondenza di detta seconda superficie sferica (2) concava interna, orientato con detto diaframma (12) affacciato verso detto catadiottro (3),

e dal fatto che detta seconda superficie sferica (2) concava interna di detto catadiottro (3) presenta una prima area (22) centrale completamente trasparente ed una seconda area (21), circostante detta prima area (22) e presentante una prima superficie riflettente,

e dal fatto di presentare un primo gruppo ottico (30), comprendente una seconda superficie riflettente (5), affacciata verso detta seconda superficie sferica (2) e

presentante un terzo asse ottico, coincidente con detti primo asse ottico e secondo asse ottico di detto obiettivo (9).

2) Sistema ottico (20) secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto primo gruppo ottico (30) comprende un primo gruppo di lenti (4), atto a ridurre l'angolo di incidenza su detto obiettivo (9), interposto tra detta prima superficie sferica (1) esterna convessa di detto catadiottro (3) e detta seconda superficie riflettente (5).

3) Sistema ottico (20) secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto primo gruppo di lenti (4) è fissato a detta prima superficie sferica (1) esterna convessa di detto catadiottro (3) tramite un supporto (8), preferibilmente metallico.

4) Sistema ottico (20) secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto primo gruppo di lenti (4) è fissato a detta prima superficie sferica (1) esterna convessa di detto catadiottro (3) tramite incollaggio diretto.

5) Sistema ottico (20) secondo una delle rivendicazioni 1-4, caratterizzato dal fatto che detta seconda superficie riflettente (5) riflette una parte della luce incidente su di essa e trasmette la restante parte.

6) Sistema ottico (20) secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detta seconda superficie riflettente (5) riflette il 50% della luce incidente su di essa e ne trasmette il restante 50%.

7) Apparato per la ripresa di immagini

tridimensionali comprendente un sistema ottico (20)
secondo una delle rivendicazioni 1-6.

8) Apparato per la proiezione di immagini
tridimensionali comprendente un sistema ottico (20)
secondo una delle rivendicazioni 1-6.

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

- 1 -

OPTICAL SYSTEM FOR OBTAINING IN A SINGLE ACQUISITION A
360° PANORAMIC IMAGE AND RELATED APPARATUSES FOR
RECORDING/PROJECTING THIS IMAGE

CLAIMS

1) Optical system (20) for obtaining in a single acquisition a 360° panoramic image, which includes a catadioptric lens (3), a photographic lens (9) and an image sensor (18) for digital processing said image; said catadioptric lens (3) comprising a spherical lens having a first outer convex spherical surface (1) and a second concave interior spherical surface (2), said first and second spherical surfaces (1, 2) having a respective centre, said centres defining a first optical axis; said photographic lens (9) having a second optical axis coinciding with said first optical axis, and comprising a stop (12) opposed to said image sensor (18); said optical system (20) being characterized in that said photographic lens (9) is fixed to said catadioptric lens (3) at said second concave interior spherical surface (2), oriented with said stop (12) facing to said catadioptric lens (3), and in that said second concave interior spherical surface (2) of said catadioptric lens (3) has a first central area (22) completely transparent and a second area (21), surrounding said first area (22) and having a first reflecting surface, and in having a first optical unit (30), comprising a second reflecting surface (5), facing to said second

spherical surface (2) and having a third optical axis, coinciding with said first optical axis and second optical axis of said photographic lens (9).

2) Optical system (20) according to claim 1, characterized in that said first optical unit (30) comprises a first group of lenses (4), suitable for reducing the angle of incidence on said photographic lens (9), which is interposed between said first outer convex spherical surface (1) of said catadioptric lens (3) and said second reflecting surface (5).

3) Optical system (20) according to claim 2, characterized in that said first group of lenses (4) is fixed to said first outer convex spherical surface (1) of said catadioptric lens (3) by means of a support (8), preferably a metal support.

4) Optical system (20) according to claim 2, characterized in that said first group of lenses (4) is fixed to said first outer convex spherical surface (1) of said catadioptric lens (3) by direct bonding.

5) Optical system (20) according to one of claims 1-4, characterized in that said second reflecting surface (5) reflects a part of the light incident on it and transmits the remaining part.

6) Optical system (20) according to claim 5, characterized in that said second reflecting surface (5) reflects the 50% of the light incident on it and transmits the remaining 50%.

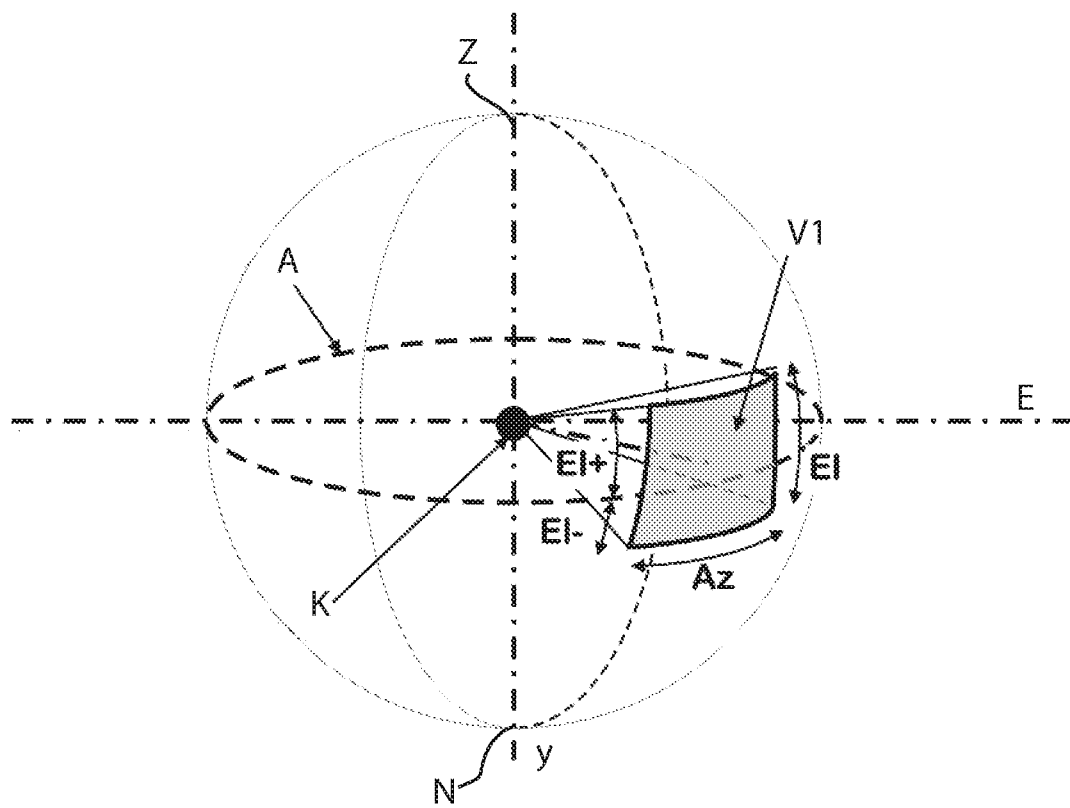
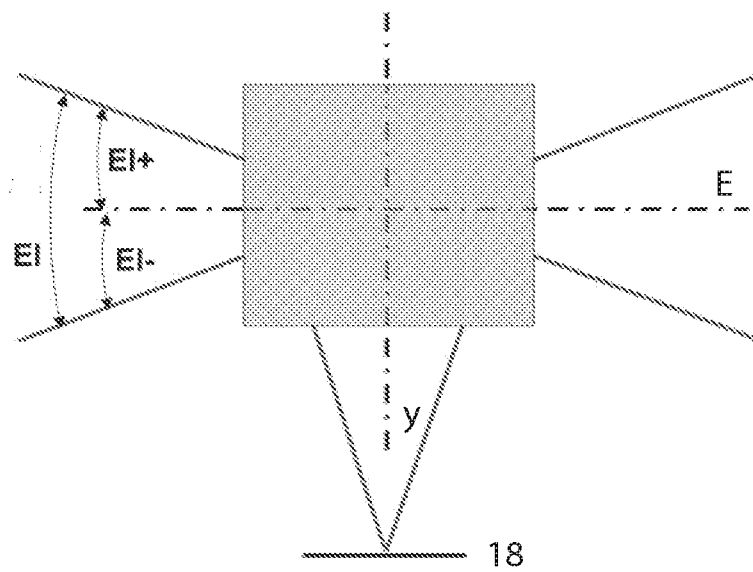
7) Apparatus for recording three-dimensional images, comprising an optical system (20) according to one of claims 1-6.

- 3 -

8) Apparatus for projecting three-dimensional images, comprising a optical system (20) according to one of claims 1-6.

Barzanò & Zanardo Roma S.p.A.

ARTE NOTA

**Fig.1****Fig.2**

