



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

# UIBM

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| <b>DOMANDA NUMERO</b>     | <b>101990900152487</b> |
| <b>Data Deposito</b>      | <b>27/11/1990</b>      |
| <b>Data Pubblicazione</b> | <b>27/05/1992</b>      |

|                |               |                    |               |                    |
|----------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|
| <b>Sezione</b> | <b>Classe</b> | <b>Sottoclasse</b> | <b>Gruppo</b> | <b>Sottogruppo</b> |
| H              | 04            | N                  |               |                    |

Titolo

TELECAMERA MULTISPETTRALE.

48 520 A 90

SIB 88907

DESCRIZIONE DELL'INVENZIONE INDUSTRIALE dal titolo:  
"TELECAMERA MULTISPETTRALE"

a nome di: Consiglio Nazionale delle Ricerche con  
sede in Roma (Italia)

÷÷÷÷÷

#### DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda una telecamera multispettrale con risposta sostanzialmente centrata nel visibile.

Dallo stato della tecnica sono note telecamere multispettrali (Imaging Spectrometers) sia per impieghi spaziali sia per impieghi terrestri.

Esempi di costruzioni di questo genere sono la telecamera multispettrale MODIS (NASA, Earth Observing System Reports, vol.IIb, 1986); HIRIS (NASA, Earth Observing System Reports, vol.IIc, 1987), ROSIS (Imaging Spectrometry for Land Applications, European Space Agency, 1988).

Queste costruzioni di tipo noto sono particolarmente complesse, pesanti ed ingombranti ed offrono prestazioni molto elevate (HIRIS) non sempre necessarie, oppure troppo basse (MODIS).

La struttura fondamentale di questi tipi di

telecamere multispettrali comprende un'ottica di formazione di immagine, un elemento a fenditura, un elemento dispersivo (reticolo di diffrazione o equivalenti), ed un sensore optoelettronico a stato solido del tipo a matrice bidimensionale.

Lo scopo della presente invenzione è quello di fornire una telecamera multispettrale con risposta centrata sostanzialmente nel visibile, del tipo a media risoluzione, particolarmente leggera, compatta e con architettura ottica particolarmente efficiente rispetto alle costruzioni note di questo genere.

Secondo la presente invenzione si prevede una telecamera multispettrale comprendente una prima ottica di formazione di immagine, un elemento a fenditura collocato nel piano di formazione di immagine di detta prima ottica; un elemento di dispersione concavo a reticolo collineare con l'asse ottico della prima ottica in modo da formare un percorso ottico ripiegato in direzione dell'asse ottico di detta prima ottica, il fascio di luce rinviato da detto elemento di dispersione essendo deviato mediante un elemento riflettente, sostanzialmente a angolo retto rispetto a detto asse ottico per pervenire su un sensore

optoelettronico bidimensionale collocato in adiacenza ad una trappola di luce per le componenti di ordine zero provenienti da detto elemento di dispersione.

Secondo una prima forma di realizzazione dell'invenzione detta prima ottica è costituita da un sistema a specchi associato ad un elemento rifrattivo di correzione.

Secondo una ulteriore forma di realizzazione, detta prima ottica è costituita da un sistema ottico interamente rifrattivo.

In una ulteriore variante prevalentemente destinata ad impieghi a terra, la telecamera in questione è associata ad uno specchio di scansione girevole collocato davanti alla apertura di ingresso del sistema ottico.

La presente invenzione verrà ora descritta in riferimento a sue forme di realizzazione attualmente preferite, riportate a titolo illustrativo e non limitativo, ed in base alle figure dei disegni allegati, in cui:

la figura 1 mostra una prima forma di realizzazione dell'invenzione in cui l'ottica di ripresa primaria dell'immagine è costituita da un sistema a specchi;

la figura 1A mostra una vista in pianta dall'alto della struttura di figura 1;

la figura 2 mostra una seconda forma di realizzazione dell'invenzione in cui l'ottica di ripresa primaria dell'immagine è costituita da un sistema ottico interamente rifrattivo;

la figura 2A mostra un particolare ingrandito della figura 2;

la figura 3 mostra relazioni geometriche relative al reticolo di diffrazione; la figura 4 mostra la disposizione di una telecamera di ripresa secondo la figura 1 o 2, associata ad una disposizione di scansione a specchio girevole.

Con riferimento ai disegni, ed in particolare alla figura 1, la parte ottico-meccanica della telecamera secondo l'invenzione comprende una incastellatura indicata nel suo complesso in 1, comprendente una prima parte 2 di ottica di formazione di immagine ed una seconda parte 3 di analisi spettrale e reticolo di diffrazione.

La parte 2 di ottica di formazione di immagine è del tipo rientrante nello schema dei telescopi Richtey-Chretien con elemento rifrattivo correttore di planarità di campo come si vedrà in seguito. Questa ottica comprende uno specchio ottico 4

costituito da un iperboloide concavo, cooperante con uno specchio secondario di rinvio 5 costituito da un iperboloide convesso. Lo specchio concavo 4 è montato su un supporto 6 solidale alla struttura 1. Lo specchio 5 di rinvio è sorretto da un centratore 16 preferibilmente a tre bracci. Sotto lo specchio concavo 4 è disposto un correttore 8 le cui caratteristiche verranno illustrate in seguito.

In corrispondenza del piano di immagine dell'ottica ora descritta è disposta una fenditura realizzata mediante elementi a cuneo 9, 10. Si è preferito realizzare la fenditura mediante elementi a cuneo, preferibilmente metallici, in luogo di una fenditura a film sottile in quanto questi sono meno suscettibili di danneggiamento e/o indebita deformazione nel caso in cui l'ottica del telescopio focalizzi l'immagine di sorgenti ad alta brillantezza (ad esempio il sole) con il conseguente riscaldamento e deterioramento di una fenditura realizzata a film sottile.

In prossimità della fenditura realizzata dagli elementi a cuneo 9, 10, è disposto, nel percorso dei raggi luminosi, un filtro 11 per filtrare via componenti indesiderate nel fascio di luce fatto passare dalla fenditura.

I dati del telescopio sono riportati nella seguente tabella 1.

TABELLA 1

DATI DEL TELESCOPIO RICHTER-CHRETIEN

- Specchio primario (iperboloide concavo)  
Diametro 44,8 mm  
Raggio di curvatura -156,334 mm  
Costante della conica =  $-(\text{eccentricità})^2 = -1,486$
  
- Specchio secondario (iperboloide convesso)  
Diametro 15,52 mm  
Raggio di curvatura -156,334 mm  
Costante della conica =  $-(\text{eccentricità})^2 = -30,5685$
  
- Correttore di planarità di campo  
Prima superficie: concava  
Raggio di curvatura: -106 mm  
Diametro: 12 mm  
Spessore: 1,24 mm  
Seconda superficie: piana  
Materiale:  $\text{SiO}_2$
  
- Dimensioni: Distanza primario/secondario 45,571 mm  
Distanza dallo specchio primario alla prima superficie del correttore: 55,11 mm

Il piano focale coincide con la seconda superficie del correttore di planarità di campo.

Rapporto focale: 3,8

Lunghezza totale: 53,2 mm

Lunghezza focale del telescopio: 124,0 mm

Fattore di scala  $0,41^{\circ}/\text{mm}$

Fenditura: larghezza  $2,5\mu$ ; lunghezza 8,8 mm.

La parte 3 di analisi spettrale comprende un elemento a reticolo concavo 12, con asse ottico inclinato di un angolo  $\alpha$  pari a circa  $6^{\circ}$  rispetto all'asse ottico del sistema telescopico precedentemente descritto.

Il reticolo concavo 12 è trattenuto in un supporto 14 mediante elementi elastici 15. Preferibilmente, il reticolo 12 ha 65 solchi/mm ed una dispersione pari a  $106\text{nm}/\text{mm}$  ed è realizzato mediante tecniche olografiche a fasci non paralleli dalla ditta francese Jobin Yvon. Questo tipo di reticolo presenta un basso valore di astigmatismo per cui è particolarmente adatto all'impiego nella telecamera in questione. In questo reticolo, lo spettro del primo ordine si trova, rispetto a raggi incidenti, a  $6^{\circ}$  per la luce ultravioletta e a  $10^{\circ}$  per la luce nell'infrarosso.

La luce di ordine zero si trova a  $4,5^\circ$ .

Tornando alla struttura ottico-meccanica, i raggi rinviati dal reticolo 12 sono riflessi su uno specchio "front surface" 16 montato sostanzialmente a  $45^\circ$  su una mensola 17 preferibilmente integrale con il corpo 3.

La disposizione è tale per cui i raggi di ordine zero entrano in una trappola di luce indicata in 18, mentre i raggi del primo ordine pervengono sulla superficie sensibile di un sensore optoelettronico ad area del tipo CCD indicato in 19. Il CCD 19 è montato su una piastra 20. Convenientemente, la piastra 20 è realizzata con materiale a elevata conducibilità termica e associata, se necessario, in modo noto ad un refrigeratore al fine di ridurre la corrente di buio del sensore optoelettronico ad area. La disposizione è tale per cui nell'area sensibile del sensore optoelettronico ciascuna riga di esplorazione corrisponde ad un preciso intervallo di lunghezze d'onda dell'immagine da analizzare spettralmente.

Nel caso di applicazioni spaziali, la scansione dell'immagine in righe successive, definite dalla fenditura 9, 10 sarà data dal moto

proprio del veicolo spaziale: per ciascuna riga di esplorazione meccanica il sensore optoelettronico 19 in cooperazione con il reticolo di diffrazione 18 effettuerà una analisi spettrale mantenendo le caratteristiche geometriche dell'immagine effettiva.

In seguito verranno illustrate le modalità operative del sensore ad area del tipo CDD.

Con riferimento alla figura 2 verrà illustrata una seconda forma di realizzazione della parte ottica di formazione di immagine realizzata con componenti ottici puramente rifrattivi.

In figura 2, parti corrispondenti a quelle di figura 1 verranno indicate con gli stessi numeri di riferimento, e non saranno nuovamente discusse in dettaglio.

L'immagine formata sul piano della fenditura definita dagli elementi a cuneo 9, 10 è focalizzata tramite un sistema ottico 20 costituito da sei elementi rifrangenti N1, N2....N6.

Gli elementi rifrangenti sono montati in una canna 21 e trattenuti in posizione centrata mediante elementi metallici elastici per non indurre sollecitazioni nei vetri dovute a differenziali di dilatazione termica a seguito

delle escursioni di temperatura alle quali può essere sottoposta la telecamera. La canna 21 è mostrata montata rigidamente nel corpo 1 della telecamera dato che questa è generalmente destinata a riprendere immagini all'infinito. Sarà chiaro ad un esperto nel ramo, che la canna 21 può essere montata in modo spostabile assialmente con tecniche note qualora si desideri mettere a fuoco oggetti ad una distanza che non può essere considerata infinita.

I parametri degli elementi rifrangenti sono riportati nella seguente tabella 2. Si noti che i doppietti non sono incollati e che tra questi è interposto un diaframma 22 che definisce l'apertura dell'obiettivo.

TABELLA 2

Obiettivo rifrattivo

| Lente | Superficie | Raggio  | Spessore | Diametro | Materiale        |
|-------|------------|---------|----------|----------|------------------|
| 1     | 1          | 57,158  | 2,2      | 20       | FK54             |
|       | 2          | -157,55 | 1,0      |          |                  |
| 2     | 3          | 19,867  | 4,2      | 18       | FK54             |
|       | 4          | -30,287 | 0,51     |          |                  |
| 3     | 5          | -28,167 | 1        | 18       | SiO <sub>2</sub> |
|       | 6          | 22,263  | 2        |          |                  |
| Diaf. | 7          |         | 17,73    | 12,8     |                  |
| 4     | 8          | -62,678 | 1        | 15       | SiO <sub>2</sub> |
|       | 9          | 12,999  | 0,52     |          |                  |
| 5     | 10         | 13,483  | 3,6      | 15       | FK54             |
|       | 11         | -53,144 | 28,86    |          |                  |
| 6     | 12         | 12,500  | 2,5      | 15       | FK54             |
|       | 13         | 33,766  | 9,89     |          |                  |

(Dimensioni in mm)

Lunghezza totale 75 mm

Apertura 3,7

Lunghezza focale equivalente 57,6 mm

Per quanto riguarda il reticolo di diffrazione questo è realizzato secondo le tecniche esposte nel brevetto francese n. 7537803 del 10 dicembre 1985 a nome JOBIN-IVON, al quale si può fare riferimento per la completezza della descrizione.

Per le realizzazioni di telecamera multispettrale precedentemente descritte i dati del reticolo di diffrazione sono riportati nella seguente tabella 3.

TABELLA 3

Tipo di reticolo OABM n.1

Reticolo sferico a campo piano

Solchi per millimetro = 65

Campo spettrale: 3500 ÷ 10500 Angstrom

Lunghezza dello spettro: 6,6 mm

lA (mm): 142,273

$\alpha(^{\circ})$ : -2,347

lH (mm) : 141,273

$\beta H (^{\circ})$ : -2,347

k = 1

| $\lambda$ (Å) | $\beta(^{\circ})$ | D(^{\circ}) | ingresso<br>dispersione<br>Å/mm | campo<br>piano<br>dispersione<br>Å/mm | LBP<br>(mm) |
|---------------|-------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| 3500          | 3,652             | 6,00        | 1677                            | 1072                                  | 142,50      |
| 10500         | 6,269             | 8,62        |                                 | 1055                                  | 143,24      |

I riferimenti geometrici sono riportati per chiarezza in figura 3.

Come esposto precedentemente, il rivelatore è costituito da un sensore bidimensionale del tipo CCD operante sul principio "frame transfer", ad esempio il tipo TH 7863 prodotto dalla Thomson, Francia, trattato sulla superficie fotosensibile con un rivestimento di sensibilizzazione alla luce di breve lunghezza d'onda e all'ultravioletto.

Questo dispositivo è organizzato per fornire segnali corrispondenti ad una immagine bidimensionale di 384x288 pixel, corrispondenti ad un dimensionamento meccanico della parte fotosensibile pari a 6,6x8,8 mm. In molte applicazioni non è necessario oppure non è conveniente sfruttare la risoluzione teorica. In effetti, la apertura (larghezza) della fenditura dello spettrometro (elementi 9, 10 in figura 1 e 2), riduce il flusso luminoso, cioè il numero di fotoni che pervengono sui singoli elementi fotosensibili del sensore optoelettronico bidimensionale 19. Da un altro punto di vista la quantità di informazione derivante dall'utilizzazione di tutti i 348x288 pixel potrebbe costituire un flusso di dati troppo grande per una gestione conveniente entro vincoli di tempo ragionevoli e legati alle caratteristiche operative del sensore bidimensionale CCD.

Tra i vari sistemi disponibili per la compressione di questi dati, si preferisce sommare sul CCD due o più pixel combinando assieme righe e colonne in modo da aumentare il segnale utile mentre il rumore di lettura resta costante. Nel caso di elevati flussi luminosi potrà essere

effettuato un campionamento ogni M pixel in quanto il rapporto segnale/rumore su un singolo elemento fotosensibile risulta migliore.

Nella figura 4 è mostrata una possibile disposizione schematica della telecamera multispettrale associata ad una disposizione di scansione a specchio girevole.

Come si nota in figura 4, il telescopio indicato schematicamente in 40 coopera con la fenditura 41, il reticolo 42, lo specchio piano di rinvio 43 ed il sensore bidimensionale 44.

Il sensore 44 è convenientemente associato ad un criostato indicato schematicamente in 45.

Il sensore 44 è operativamente collegato ad una unità elettronica 46, che coopera tramite un buffer 47 con un elaboratore 48 associato ad un monitor 49.

Davanti alla apertura di ingresso del telescopio 40 è montato uno specchio mobile 50 comandato da mezzi a motore non mostrati (quali un motore a passi) pilotati dall'elaboratore 48.

Con la telecamera ora descritta fissa e una immagine 51 non in moto relativo rispetto alla telecamera, il moto dello specchio 50 permetterà di effettuare scansioni successive della immagine 51

per coprire le aree elementari di immagine di cui deve essere effettuata l'analisi spettrale.

Questo tipo di disposizione opera in un modo che sarà chiaro ad un esperto nel ramo per cui non si ritiene necessario approfondire ulteriormente la descrizione del sistema.

La presente invenzione è stata descritta in riferimento ad una sua forma di realizzazione attualmente preferita ma si comprenderà che persone esperte nel ramo potranno apportare variazioni e modifiche senza uscire dall'ambito di protezione della presente privativa industriale.

RIVENDICAZIONI

1. Telecamera multispettrale caratterizzata dal fatto di comprendere una prima ottica di formazione di immagine, un elemento a fenditura collocato nel piano di formazione di immagine di detta prima ottica; un elemento di dispersione concavo a reticolo collineare con l'asse ottico della prima ottica in modo da formare un percorso ottico ripiegato in direzione dell'asse ottico di detta prima ottica, il fascio di luce rinviato da detto elemento di dispersione essendo deviato, mediante un elemento riflettente, sostanzialmente ad angolo retto rispetto a detto asse ottico collocato in adiacenza ad una trappola di luce per le componenti di ordine zero provenienti da detto elemento di dispersione.

2. Telecamera multispettrale secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che detta prima ottica di formazione di immagine è del tipo rientrante nello schema dei telescopi Ritchey-Chretien, comprendente uno specchio primario costituito da un iperboloide concavo, cooperante con uno specchio secondario di rinvio costituito da un iperboloide convesso, il tutto essendo associato ad un elemento rifrattivo correttore di planarità

di campo.

3. Telecamera multispettrale secondo la rivendicazione 2, caratterizzata dal fatto che detta prima ottica è definita dai seguenti parametri:

- Specchio primario (iperboloide concavo)
  - Diametro 44,8 mm
  - Raggio di curvatura -156,334 mm
  - Costante della conica =  $-(\text{eccentricità})^2 = -1,486$
  
- Specchio secondario (iperboloide convesso)
  - Diametro 15,52 mm
  - Raggio di curvatura -156,334 mm
  - Costante della conica =  $-(\text{eccentricità})^2 = -30,5685$
  
- Correttore di planarità di campo
  - Prima superficie: concava
  - Raggio di curvatura: -106 mm
  - Diametro: 12 mm
  - Spessore: 1,24 mm
  - Seconda superficie: piana
  - Materiale:  $\text{SiO}_2$
  
- Dimensioni: Distanza primario/secondario 45,571 mm
  - Distanza dallo specchio primario alla prima super-

ficie del correttore: 55,11 mm

4. Telecamera multispettrale secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che detta prima ottica di formazione d'immagine è costituita da elementi rifrattivi definiti dai seguenti parametri:

| Lente | Superficie | Raggio  | Spessore | Diametro | Materiale        |
|-------|------------|---------|----------|----------|------------------|
| 1     | 1          | 57,158  | 2,2      | 20       | FK54             |
|       | 2          | -157,55 | 1,0      |          |                  |
| 2     | 3          | 19,867  | 4,2      | 18       | FK54             |
|       | 4          | -30,287 | 0,51     |          |                  |
| 3     | 5          | -28,167 | 1        | 18       | SiO <sub>2</sub> |
|       | 6          | 22,263  | 2        |          |                  |
| Diaf. | 7          |         | 17,73    | 12,8     |                  |
| 4     | 8          | -62,678 | 1        | 15       | SiO <sub>2</sub> |
|       | 9          | 12,999  | 0,52     |          |                  |
| 5     | 10         | 13,483  | 3,6      | 15       | FK54             |
|       | 11         | -53,144 | 28,86    |          |                  |
| 6     | 12         | 12,500  | 2,5      | 15       | FK54             |
|       | 13         | 33,766  | 9,89     |          |                  |

(Dimensioni in mm)

Lunghezza totale 75 mm

Apertura 3,7

Lunghezza focale equivalente 57,6 mm

5. Telecamera multispettrale secondo una o più delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto che detto elemento di dispersione è costituito da un reticolo concavo realizzato con tecniche olografiche a fasci non paralleli con parametri definiti come segue:

Tipo di reticolo OABM n.1

Reticolo sferico a campo piano

Solchi per millimetro = 65

Campo spettrale: 3500 ÷ 10500 Angstrom

Lunghezza dello spettro: 6,6 mm

lA (mm): 142,273

$\alpha(^{\circ})$ : -2,347

lH (mm) : 141,273

$\beta H (^{\circ})$ : -2,347

k = 1

| $\lambda$ (Å) | $\beta(^{\circ})$ | D(^{\circ}) | ingresso<br>dispersione<br>Å/mm | campo<br>piano<br>dispersione<br>Å/mm | LBP<br>(mm) |
|---------------|-------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| 3500          | 3,652             | 6,00        | 1677                            | 1072                                  | 142,50      |
| 10500         | 6,269             | 8,62        |                                 | 1055                                  | 143,24      |

6. Telecamera multispettrale secondo una o più delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto di essere associata, per il rilevamento delle componenti spettrali, ad un sensore ad area del tipo CCD.

7. Telecamera multispettrale secondo la rivendicazione 6, caratterizzata dal fatto che detto sensore del tipo CCD. è associato operativamente a mezzi di raffreddamento criogenico.

8. Telecamera spettrale secondo la rivendicazione 6 e/o 7, caratterizzato dal fatto

che sul detto sensore CCD. vengono sommati due o più pixel combinando assieme righe e/o colonne in modo da aumentare il segnale utile mentre il rumore di lettura rimane costante.

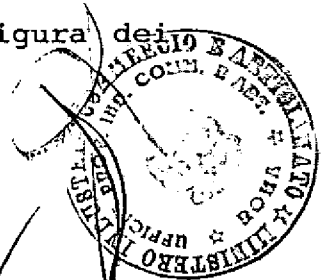
9. Telecamera multispettrale secondo una o più delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto che detta fenditura è realizzata mediante elementi a cuneo a bassa deformabilità in presenza di sollecitazioni localizzate di concentrazione di radiazioni.

10. Telecamera multispettrale secondo una o più delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto di essere associata ad un elemento di scansione di immagine del tipo a specchio movimentato da mezzi a motore controllati da un elaboratore associato alla telecamera.

11. Telecamera multispettrale secondo una o più delle precedenti rivendicazioni e sostanzialmente come illustrata e descritta precedentemente ed in riferimento alle figure dei disegni allegati.

p.p. Consiglio Nazionale delle Ricerche

Com.te Giorgio  
(Iscri. Albo n. 87)



01313791

48520A/90

88907

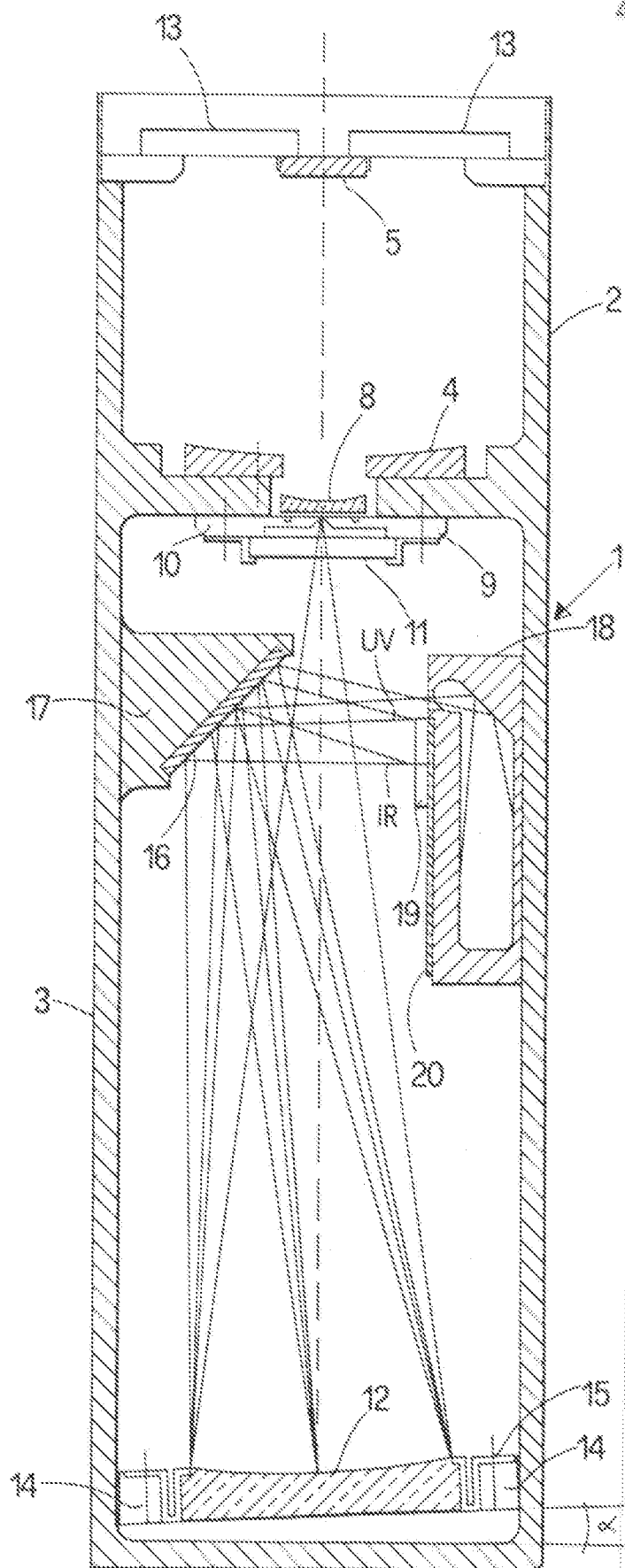


FIG.1

01313E91

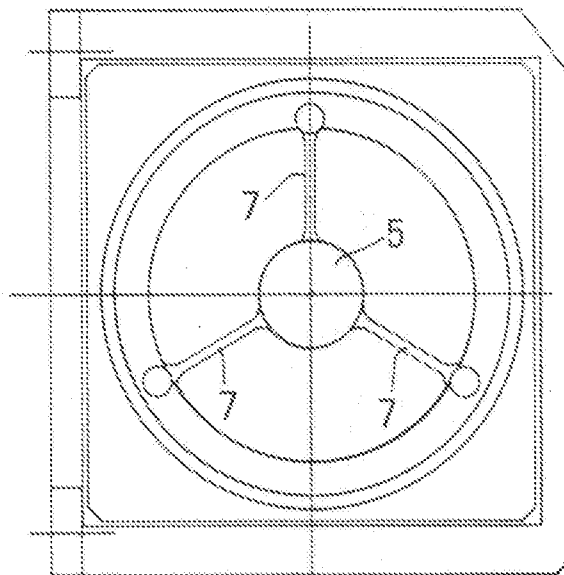
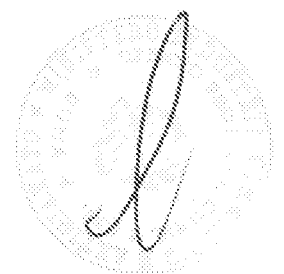


FIG.1A



18/11/90

88937

01313E91

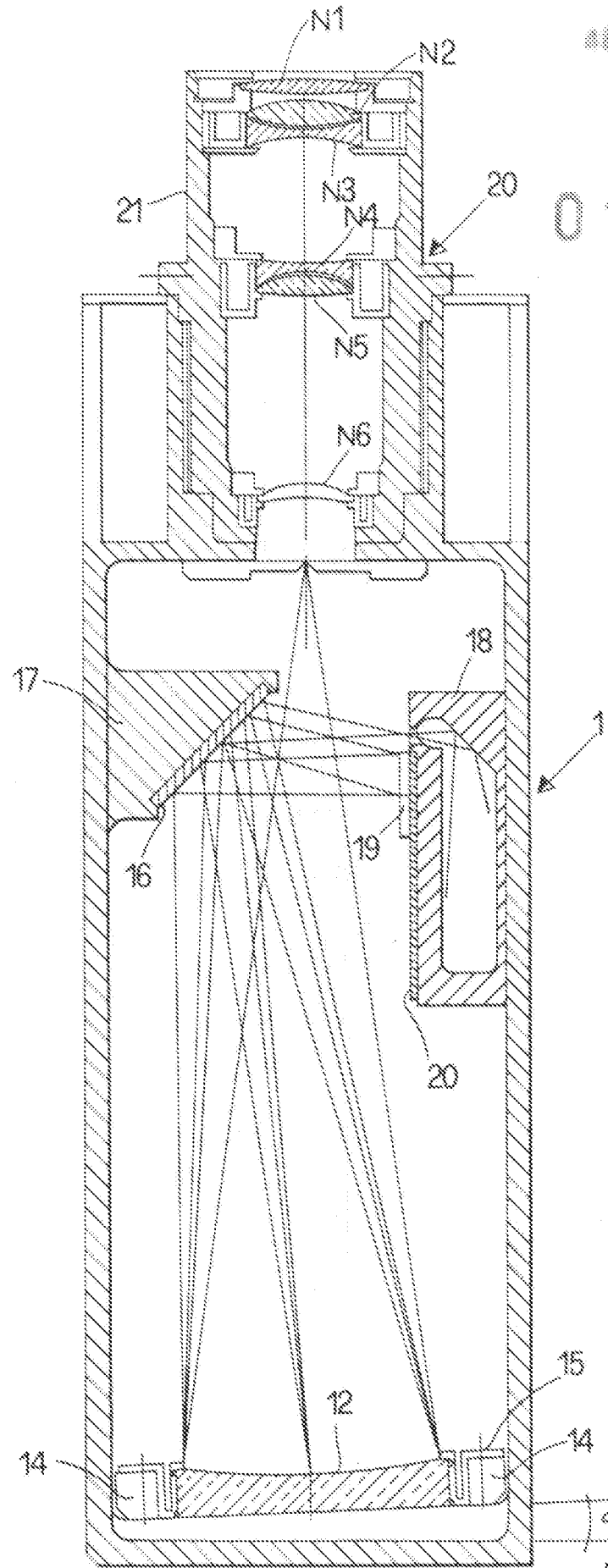


FIG.2

48520A/90

01313F91

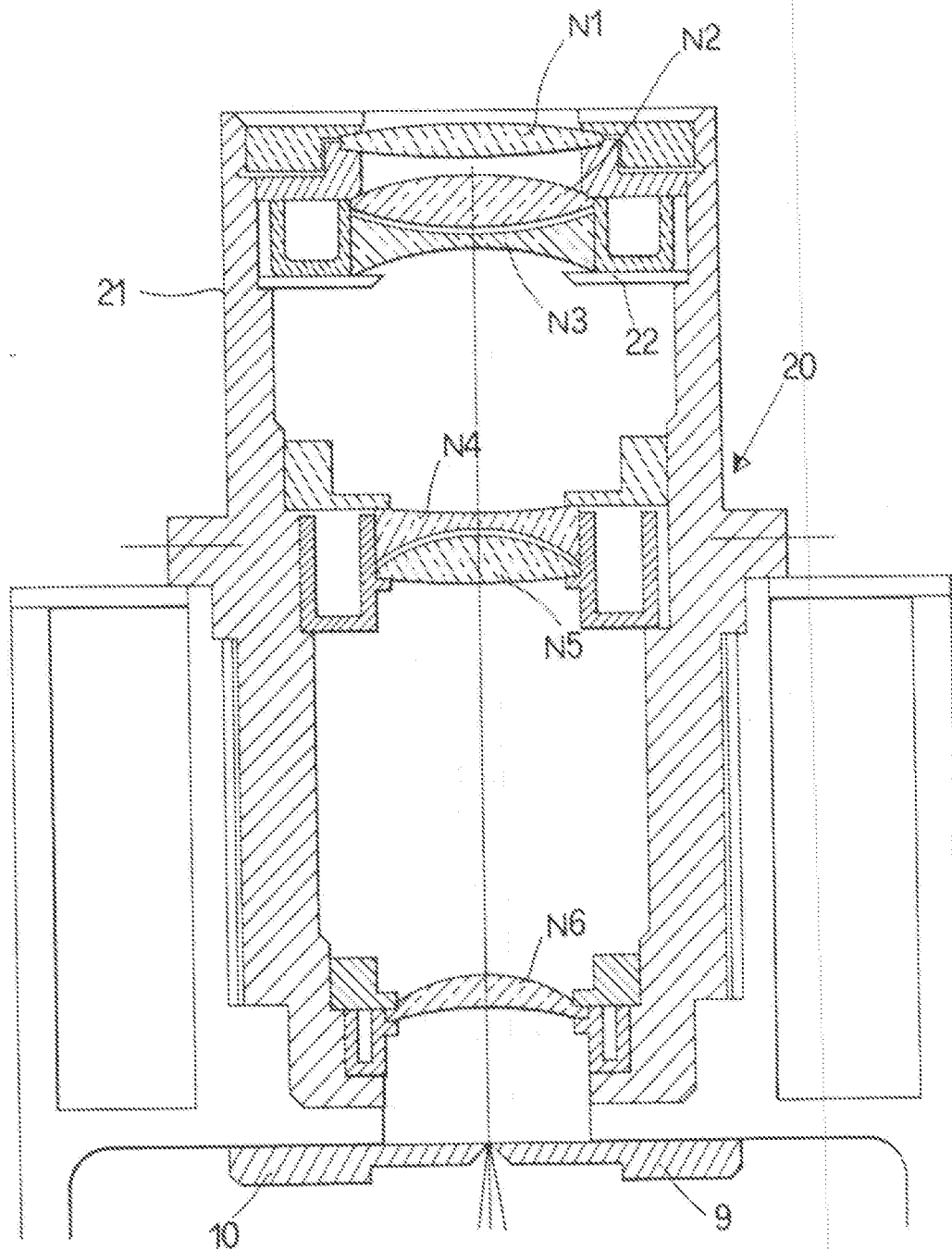


FIG.2A

p.p. CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Consiglio Nazionale delle Ricerche  
(Ricevuto 10/11/90)

48520A/90

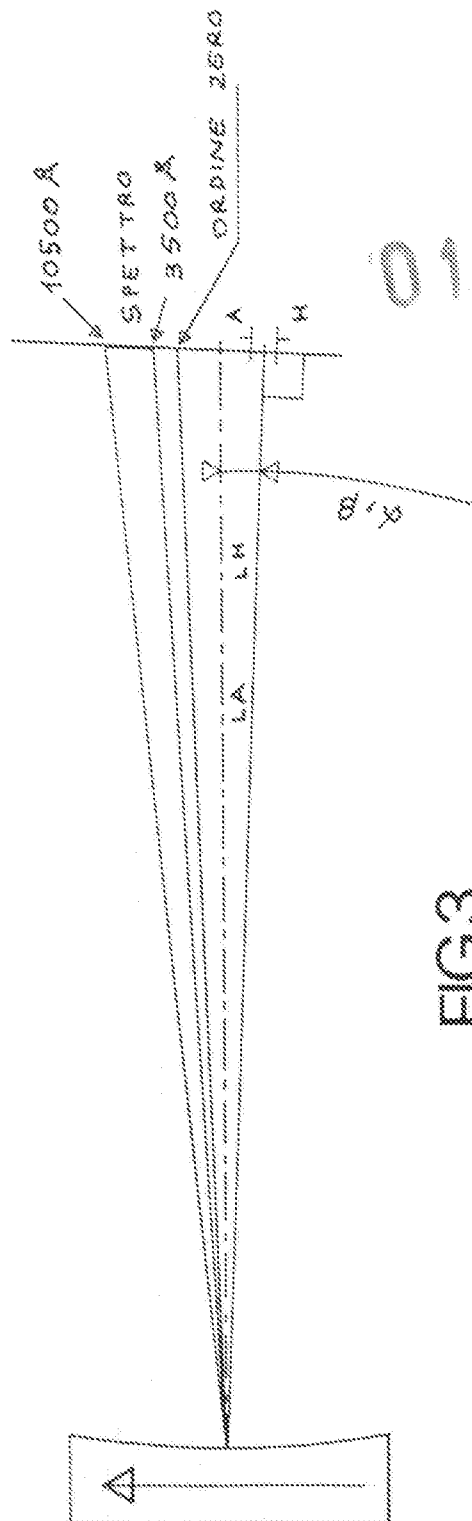


FIG.3

P.S. CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Com. le. Carlo Omedeo Salù  
(acc. n. 87)

483302/90

01313F91

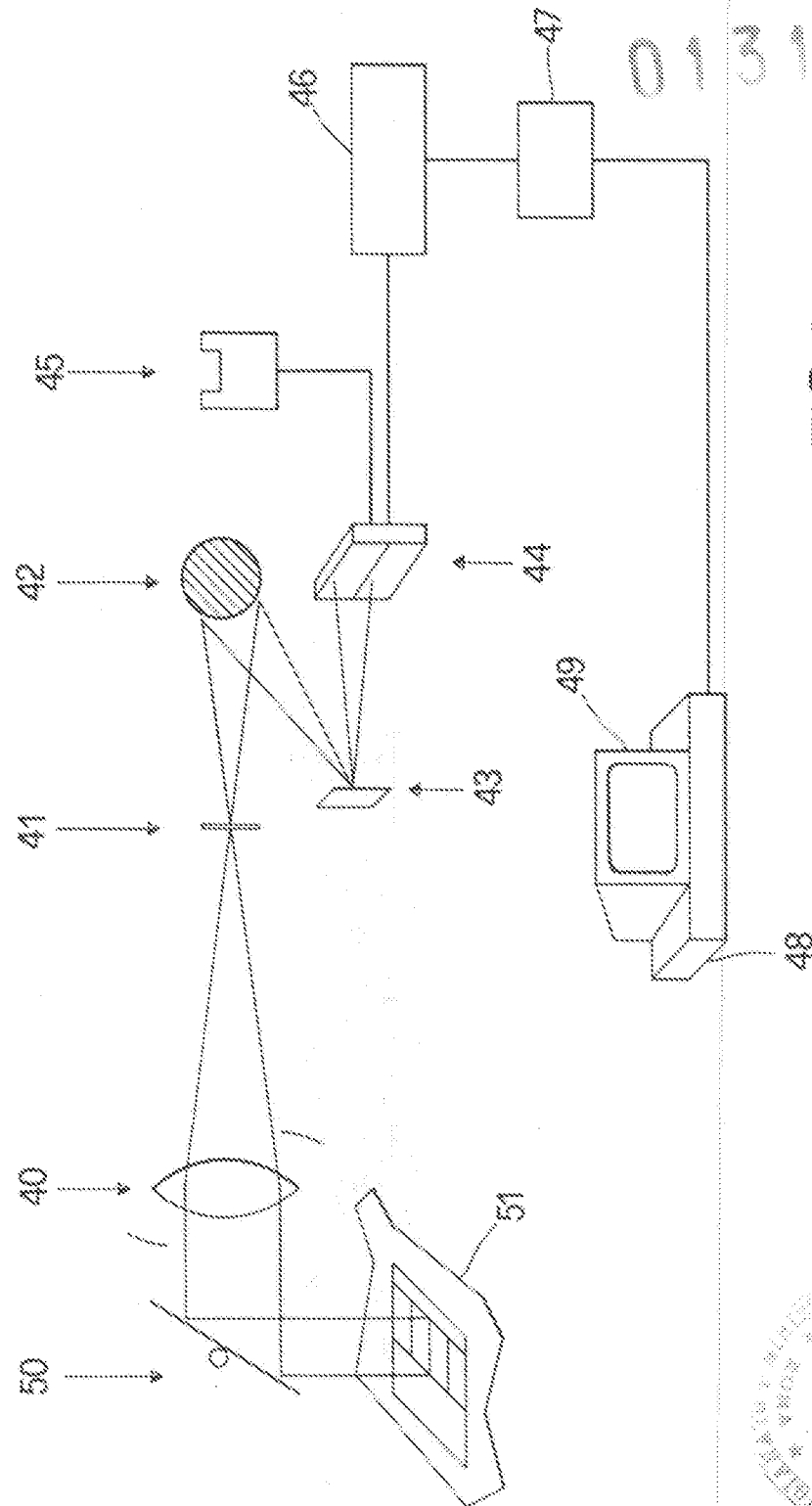
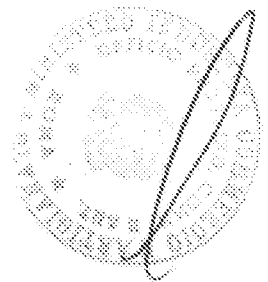


FIG.4



P.S. CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Com. L. Giorgio Omadeo Salt  
(n. 100/87)