

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901846074A1

Publication Date

20111208

Applicant

FERRIGNO CARLO

Title

SISTEMA OPTO-ELETTRONICO PER MISURE RADIOMETRICHE.

DESCRIZIONE

annessa a domanda di brevetto per INVENZIONE INDUSTRIALE
avente per titolo

"SISTEMA OPTO-ELETTRONICO PER MISURE RADIOMETRICHE"

a nome:

Carlo FERRIGNO di cittadinanza italiana, residente a I-35128 PADOVA, Via Ongarello 1;

Donato VINCENZI di cittadinanza italiana, residente a I-44042 Cento (FE), Via Ponte Reno 2/2;

Massimiliano OCCHIALI di cittadinanza italiana, residente a I-44100 FERRARA, Via Argine Ducale 282;

Stefano BARICORDI di cittadinanza italiana, residente a I-44033 Ro (FE), Via Provinciale 36.

Inventori Designati: *Carlo FERRIGNO, Donato VINCENZI, Massimiliano OCCHIALI e Stefano BARICORDI.*

Il Mandatario: Ing. Tommaso PUGGIOLI c/o BUGNION S.p.A.,
Via Goito, 18 - 40126 - Bologna.

La presente invenzione riguarda un sistema opto-elettronico per misure radiometriche ed in particolare
5 un sistema in grado sia di effettuare misurazioni di irradianza solare diretta, sia di valutare la precisione con cui l'asse ottico di riferimento di tale strumento è orientato verso il Sole.

Alcuni sistemi solari, fotovoltaici o termici, vengono
10 movimentati da apposite strutture meccaniche in modo che essi siano orientati sempre perpendicolarmente alla direzione della radiazione solare, permettendo quindi una più efficace raccolta della potenza emessa dal Sole.
I sistemi solari fotovoltaici e termici sono volti a

convertire la radiazione solare in energia elettrica o termica. Detti sistemi vengono comunemente esposti alla radiazione solare orientando la loro superficie attiva verso sud e inclinandoli di un opportuno angolo (detto
5 elevazione) rispetto all'orizzonte, in modo da ottimizzare l'angolo tra la radiazione solare e la perpendicolare alla superficie attiva. Questa soluzione permette di massimizzare l'efficienza di raccolta della radiazione solare nelle ore di maggiore irraggiamento.

10 In alcuni casi i sistemi solari vengono montati su strutture meccaniche o elettromeccaniche in grado di inseguire il Sole nel suo moto apparente, e quindi permettono a tali sistemi di essere sempre orientati perpendicolarmente alla radiazione solare diretta,
15 ovvero alla radiazione che giunge direttamente dal disco solare. Anche questa soluzione permette di massimizzare l'efficienza di raccolta della radiazione solare nell'arco dell'intera giornata. Alcuni particolari sistemi solari detti "a concentrazione" fanno uso di
20 sistemi ottici quali lenti o specchi per concentrare la radiazione solare su elementi attivi di piccola dimensione. Tali elementi attivi possono essere celle fotovoltaiche capaci di generare energia elettrica, oppure ricevitori termici capaci di convertire la
25 radiazione solare in calore.

In entrambi i casi, il sistema ottico di concentrazione permette di raccogliere molto efficacemente solo la radiazione solare che cade all'interno di un cono la cui
30 semi-apertura è detta "accettanza" angolare. L'asse di tale cono è tipicamente definito asse ottico del sistema. Rispetto ai sistemi solari piani, i sistemi

solari a concentrazione hanno una accettazione angolare estremamente ridotta e per garantire l'ottimale efficienza di raccolta è indispensabile che l'asse ottico del sistema sia precisamente allineato alla
5 direzione da cui provengono i raggi solari.

La necessità del corretto allineamento con la radiazione solare risulta valida anche nel caso di sistemi solari piani. I sistemi di inseguimento solare sono tipicamente dotati di sistemi elettronici di controllo per fornire
10 indicazioni agli attuatori e permettere ai sistemi di conversione di trovarsi costantemente all'angolo ottimale di inclinazione, ovvero ad allineare l'asse ottico dei sistemi con la direzione da cui provengono i raggi solari. Tali sistemi elettronici di controllo
15 possono fare uso delle coordinate astronomiche (effemeridi) del Sole per un dato giorno e per una data ora, oppure utilizzare sensori di allineamento che forniscono una indicazione diretta dell'inclinazione rispetto alla direzione della radiazione solare.

La precisione tipica dei sistemi di inseguimento dipende fortemente dalla tipologia dei sistemi di conversione utilizzati: nel caso in cui al sistema di inseguimento vengano accoppiati pannelli piani, sia fotovoltaici sia termici, l'errore tollerabile è tipicamente di alcuni
20 gradi, mentre nel caso di sistemi a concentrazione l'errore tollerabile è tipicamente di qualche decimo di grado.
25

I produttori di sistemi ad inseguimento solare sono soliti specificare la precisione con la quale il sistema
30 è in grado di allinearsi alla direzione della radiazione solare, ma molto raramente vengono fornite prove

strumentali di questa indicazione. In più, l'errore di allineamento può dipendere da condizioni ambientali (carico vento, deformazioni termiche, nubi) o da condizioni contingenti (polvere accumulata sui sensori ottici di posizionamento, errori nell'orario utilizzato per il calcolo delle effemeridi solari).

L'utilizzo di uno strumento preposto alla misura della precisione angolare con la quale il sistema di movimentazione insegue il Sole è quindi di estrema importanza per fornire una indicazione quantitativa dell'errore commesso e dell'andamento temporale di tale errore, in modo da poterlo correlare a particolari condizioni ambientali o contingenti.

Esistono in commercio alcuni strumenti che forniscono questa misura e fanno uso in alcuni casi di sensori CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) o CCD (charge coupled device), in altri casi vengono anche usati dispositivi PSD (position sensitive device).

Questi strumenti non permettono tuttavia di fornire una indicazione della irradianza solare diretta, ovvero della intensità luminosa che proviene direttamente dal disco solare, e quindi non consentono di valutare la perdita di potenza conseguente ad un determinato errore nell'allineamento dei sistemi di conversione con la radiazione solare incidente. Questa limitazione è dovuta al fatto che l'elemento sensibile dei sensori CMOS, CCD o PSD è tipicamente realizzato in silicio e la misura della intensità luminosa avviene quantificando la carica foto-generata da componenti elettronici miniaturizzati detti foto-diodi.

Per una loro caratteristica intrinseca, i fotodiodi

hanno una curva di risposta spettrale che non può essere costante su tutto lo spettro; essi, infatti, una volta esposti a radiazione luminosa ad ampio spettro come quella solare, danno una risposta mediata dalla loro

5 curva di sensibilità. In particolare i fotodiodi in silicio non possono convertire in cariche elettriche, e quindi in segnale utile, la radiazione luminosa con lunghezza d'onda superiore a 1200 nm mentre lo spettro della radiazione solare si estende anche nel lontano

10 infrarosso, ovvero a lunghezze d'onda superiori. Anche le lunghezze d'onda relativamente corte (al di sotto di 500 nm) non vengono convertite efficacemente dal silicio. Questo fa sì che il segnale elettrico in uscita dal generico dispositivo costituisca una

15 indicazione media della intensità della radiazione incidente all'interno di una particolare banda spettrale ma non permette di misurare precisamente l'intensità radiante su tutto lo spettro di emissione della sorgente solare.

20 Secondo quanto noto, la misura della radiazione solare diretta avviene tipicamente per mezzo di uno strumento esterno detto pireliometro, il quale è dotato di un sensore ad ampio spettro (termopila) e permette di misurare direttamente l'intensità della radiazione

25 incidente all'interno di un cono di apertura complessiva di circa 6 gradi. Analogamente ai sensori di puntamento, questi strumenti vengono fissati solidalmente alla struttura meccanica di inseguimento ed allineati con l'asse ottico dei sistemi di conversione

30 solare. Trattandosi di uno strumento separato dal sensore di puntamento esiste la necessità di effettuare

un allineamento preciso tra i due in modo che le misure radiometriche di intensità radiante (irradianza) siano coerenti con le misure della precisione di inseguimento. In altre parole, gli strumenti per la rilevazione della precisione di inseguimento solare fanno tipicamente uso di sensori di posizione (CCD, CMOS o PSD) che, per loro caratteristiche intrinseche, non possono fornire misurazioni radiometriche precise della intensità luminosa incidente sul sensore. Tali sensori a semiconduttore, basati sull'effetto fotoelettrico, convertono una porzione dei fotoni incidenti in cariche elettriche costituendone il segnale utile. Le diverse lunghezze d'onda incidenti sulla superficie attiva di tali sensori vengono convertite con efficienza diversa e, a parità di intensità radiante, danno quindi una risposta elettrica diversa. La curva che descrive il rapporto tra corrente elettrica generata e la potenza ottica incidente in funzione della lunghezza d'onda è detta curva di risposta spettrale del dispositivo.

Nel caso di dispositivi al silicio la curva di risposta spettrale si estende tipicamente da 400 nm a 1000 nm. Il segnale in uscita da questi dispositivi è matematicamente descritto dall'integrale del prodotto tra la curva di risposta spettrale del dispositivo e la densità spettrale di potenza della radiazione incidente. Per la natura intrinseca della funzione integrale non è possibile, a partire dal segnale in uscita da detti dispositivi semiconduttori, risalire alla distribuzione spettrale della radiazione incidente. Come conseguenza di ciò, il segnale elettrico in uscita da un dispositivo a semiconduttore non può identificare univocamente

l'intensità della radiazione incidente a meno che non si conosca perfettamente lo spettro della radiazione luminosa e la curva di risposta spettrale del dispositivo.

5 E' noto che la radiazione solare che giunge sulla superficie terrestre subisce variazioni diurne e stagionali della densità spettrale di potenza per effetto dell'assorbimento e della diffusione da parte dei gas, del vapor d'acqua e delle polveri presenti
10 nell'atmosfera.

Per effettuare una misura precisa della irradianza diretta occorre fare uso di un sensore a largo spettro, come la termopila, utilizzata ampiamente dei piranometri e pireliometri. Questo tipo di sensore ha una risposta
15 spettrale praticamente costante su tutta la gamma di lunghezze d'onda che va da 300 nm a 2800 nm.

Per effettuare una precisa misura di intensità radiante è altresì possibile utilizzare uno "spettroradiometro" calibrato, ovvero uno strumento che fornisce la curva
20 della densità spettrale di potenza in funzione della lunghezza d'onda. L'integrale della densità spettrale di potenza esteso, almeno in linea di principio, su tutte le lunghezze d'onda fornisce la irradianza sul piano del sensore.

25 Nel caso lo spettro della radiazione da misurare presenti una certa regolarità e le sue variazioni non siano completamente arbitrarie, non è necessario effettuare misure di densità spettrale di potenza con intervalli di lunghezze d'onda estremamente ridotti
30 (come nel caso degli spettro-radiometri basati su elementi dispersivi o diffrattivi), ma è sufficiente

effettuare un numero ridotto di misurazioni monocromatiche per risalire ad una descrizione attendibile del contenuto energetico dello spettro in esame. Ovviamente, perché il calcolo della irradianza

5 totale sia preciso occorre che tali misurazioni vengano condotte su un ampia banda di lunghezze d'onda in modo da comprendere la banda ultravioletta dello spettro, la banda visibile e l'ampia banda infrarossa.

Il documento CN101398301 descrive un'apparecchiatura di

10 misurazione della precisione di inseguimento per un sistema fotovoltaico di inseguimento a due assi.

La luce incidente viene convogliata mediante una guida di luce, ed attraverso un vetro sintetico, su di un bersaglio semitrasparente sul quale sono disposti

15 diverse corone circolari concentriche indicanti ognuno diversi gradi di precisione nella misurazione di tracking del Sole. Questo apparato può essere montato direttamente sul sistema fotovoltaico e può dare una misura della precisione dell'inseguimento del Sole in

20 base al punto del bersaglio in cui va ad incidere la luce.

Il documento CN 201043889 descrive un trasduttore della posizione del Sole ad alta precisione composto da una lente convessa, un diodo fotosensibile o una fotocellula

25 ed un circuito di elaborazione del segnale. L'immagine del Sole formata dalla lente convessa, viene convogliata sulla fotocellula o sul diodo fotosensibile, questo permette al circuito di processare la posizione del Sole. Questo sistema, applicato ai sistemi fotovoltaici

30 permette di inseguire la posizione del Sole. Nella descrizione del brevetto in questione, non si fa

riferimento alla precisione che è in grado di fornire;
US 2010/0000517 (A1) descrive un sistema in cui viene
analizzata la luce solare per individuarne ed isolarne
la parte di radiazione diretta per l'inseguimento
5 solare. La luce incidente, proveniente da diverse
direzioni, incide su polarizzatori con angoli diversi
per determinarne l'energia di radiazione.
Successivamente la luce viene filtrata con filtri
interferenziali per isolare la radiazione solare
10 diretta. Infine la luce attraversa una lente sferica per
incidere su una configurazione di celle a quattro
quadranti, questo permette di allineare un sistema di
raccolta della radiazione solare in modo da ricevere la
radiazione diretta. Questo apparato non è uno strumento
15 di misura, ma un sensore di posizione che permette di
allineare un sistema con la direzione della radiazione
proveniente dal Sole.

Il documento CN101329583 descrive un dispositivo
automatico di tracciamento solare composto da: un
20 sensore di posizione solare PSD (Position Sensor
Detector), un chip DS1302 che fornisce ora e data in
tempo reale, un circuito di elaborazione del segnale, un
microcomputer per il controllo del chip, un meccanismo
di inseguimento. Il PSD è un fotodiodo segmentato con
25 l'area sensibile divisa in più zone. In base alla zona
colpita, si riesce a risalire alla deflessione del
fascio e conseguentemente allo spostamento del supporto
riflettente.

Il documento US2008029652 (A1) descrive un sensore
30 solare per il mantenimento dell'assetto di un satellite
con l'utilizzo di un sensore APS (Active Pixel Sensor)

come rivelatore. L'apparecchiatura è così composta: un diaframma, un sensore APS, unità di rilevamento, unità di elaborazione ed interfaccia. Il diaframma è in questo caso una maschera ricavata in un wafer di silicio da 300 micron. L'immagine del Sole incide sul sensore dopo
5 essere passata attraverso la maschera posta a 3,5mm dal sensore. Un'immagine dei vari spot solari si forma così sul sensore. L'unità di rilevamento con il sensore CMOS APS, è programmata per fornire il valore di grigio di
10 ogni pixel dell'immagine acquisita attraverso la maschera. L'unità di elaborazione analizza le coordinate di ogni pixel sull'APS e, sulla base di questo dato e sul livello di grigio di ogni pixel, elabora l'angolo di assetto che viene successivamente trasferito al computer
15 tramite l'interfaccia. Le dimensioni di questo apparato sono 85x85x45 mm, un peso di 250g. L'accuratezza è di 0.05 in FOV di 120 x 120, il rate di update è 10hz. Per applicazioni nel campo dei satelliti sono richiesti un FOV ampio, un peso contenuto e un'ottima precisione
20 nella determinazione dell'assetto del satellite o del rover.

Il documento US3876880 descrive un piranometro per la misura della radiazione solare globale all'interno dello spettro solare. Questo strumento consta di tre teste di
25 misura cioè rivelatori termoelettrici con filtri emisferici disposti in maniera concentrica. Ad ogni rivelatore è accoppiato un filtro selettivo per le lunghezze d'onda nel campo dell'infrarosso, del visibile e dell'ultravioletto rispettivamente per coprire
30 l'intero spettro della radiazione solare. Tale strumento è dotato di un sistema di ventilazione per prevenire il

surriscaldamento dovuto all'assorbimento della lunghezze d'onda maggiori.

Il documento US5455415 descrive un sensore di insolazione dalle dimensioni compatte che individua una
5 direzione principale di insolazione e di intensità in conformità alle condizioni atmosferiche. Viene trasmessa solo una parte del fascio incidente su una superficie predeterminata distanziata di una quantità nota, la quale è ricoperta di un film per conversione
10 fotoelettrica costituito da semiconduttori. Il fascio incidente sulla superficie genera quindi un segnale elettrico corrispondente alla posizione di ricezione della luce, determinandone il centro di intensità. Queste informazioni vengono utilizzate per la correzione
15 di un sistema di condizionamento in base alla direzione principale di insolazione.

In questo contesto, il compito tecnico precipuo della presente invenzione è proporre un sistema opto-elettronico di misura che consenta di ovviare ai
20 suddetti inconvenienti.

Uno scopo della presente invenzione è proporre un sistema opto-elettronico di misura che permetta di fornire, grazie ad una apposita calibrazione spettro-radiometrica, sia una precisa indicazione della
25 intensità solare diretta (irradianza) su tutto lo spettro solare, sia una misura della precisione con cui l'asse ottico del sistema è allineato rispetto alla direzione da cui provengono i raggi solari.

Un altro scopo della presente invenzione è offrire la
30 possibilità di integrare la misura della precisione di puntamento e la misura della irradianza in un unico

strumento evitando l'utilizzo di due strumenti separati (sensore di puntamento e pireliometro) e permettendo inoltre di ottenere indicazioni aggiuntive derivanti dall'elaborazione delle immagini raccolte.

- 5 Il compito tecnico precisato ed almeno gli scopi specificati sono sostanzialmente raggiunti da un sistema opto-elettronico di misura comprendente le caratteristiche tecniche esposte nelle rivendicazioni annesse.
- 10 Ulteriori caratteristiche e vantaggi della presente invenzione appariranno maggiormente chiari dalla descrizione indicativa, e pertanto non limitativa, di una forma di realizzazione preferita ma non esclusiva di un sistema opto-elettronico di misura dell'irradianza
- 15 solare come illustrato negli uniti disegni in cui:
- la figura 1 illustra un sistema di misura secondo la presente invenzione in una vista laterale schematica con alcune parti asportate per meglio evidenziarne altre;
 - la figura 2 illustra un particolare del sistema di
- 20 figura 1 in una vista prospettica schematica;
- la figura 3 illustra un sistema opto-elettronico di misura secondo la presente invenzione in una seconda forma realizzativa in una vista laterale schematica con alcune parti asportate per meglio evidenziarne altre;
- 25 - la figura 4 illustra un sistema opto-elettronico di misura secondo la presente invenzione in una vista prospettica schematica;
- la figura 5 illustra un'applicazione del sistema opto-elettronico di misura di cui alle figure
- 30 precedenti, in una vista prospettica schematica;
- la figura 6 illustra una porzione del sistema opto-

elettronico di misura secondo la presente invenzione in una scala ingrandita ed in una vista laterale schematica;

5 - la figura 7 illustra un diagramma a blocchi relativo ad una metodologia di calcolo implementabile dal sistema opto-elettronico di misura secondo la presente invenzione;

10 - la figura 8 illustra un secondo diagramma a blocchi relativo ad una seconda metodologia di calcolo implementabile dal sistema opto-elettronico di misura secondo la presente invenzione.

Con riferimento alla figura 1, con il numero 1 è indicato un sistema opto-elettronico di misura secondo la presente invenzione.

15 Il sistema 1 comprende uno strumento 100 di misura facente anch'esso parte della presente invenzione.

Recenti studi scientifici condotti dagli inventori hanno dimostrato che la regolarità delle variazioni dello spettro della radiazione solare è tale da permettere il
20 calcolo dell'irradianza globale (integrata su tutto lo spettro di lunghezze d'onda) a partire da un numero ridotto di misurazioni monocromatiche.

Tali misure monocromatiche sono condotte all'interno di in una banda di lunghezze d'onda piuttosto ristretta,
25 compresa fra i 300nm e i 1200nm.

Lo strumento 100 permette il calcolo dell'irradianza globale, ovvero integrata su tutto lo spettro di lunghezze d'onda, a partire da almeno una radiazione monocromatica.

30 Lo strumento 100 secondo la presente invenzione comprende un sensore fotoelettrico 101 provvisto di una

matrice di pixel, ed un circuito stampato o circuito elettronico 102 sul quale è montato il sensore 101.

Più in particolare, lo strumento 100 comprende una camera ottica 103 nella quale è racchiuso il sensore 101.

Il sensore 101 ha una predeterminata e nota curva di risposta spettrale ed un predeterminato tempo minimo di esposizione (ad esempio 0,1 ms) che corrisponde al minimo tempo di esposizione dei pixel del sensore stesso (101).

Inoltre, il sensore 101 opportunamente comandato, come sarà chiarito in seguito, registra le immagini che si formano su di esso ed esegue un cosiddetto scatto fotografico che corrisponde al tempo di acquisizione delle immagini.

Lo strumento 100 comprende un sistema ottico 104 il cui piano focale giace sulla superficie sensibile o regione attiva 134 del sensore 101.

In generale il sistema ottico 104 comprende una o più lenti per focalizzare la sorgente luminosa osservata con lo strumento 100 sul sensore 101; per maggiore semplicità, senza per questo perdere di generalità, si farà nel seguito riferimento ad una unica lente con riferimento al sistema ottico 104.

Con centro del sistema ottico si intende il centro della suddetta lente.

La regione attiva 134 e la lente del sistema ottico 104 definiscono il campo di vista dello strumento 100.

Per lo strumento 100 è altresì possibile definire un asse ottico 137.

Una unità o sistema di elaborazione dati 130 è

collegabile allo strumento 100 mediante un sistema di comunicazione 110.

Vantaggiosamente, in una preferita forma realizzativa, il sistema di comunicazione 110 è definito da una
5 connessione Universal Serial Bus (USB).

Alternativamente, il sistema di comunicazione 110 è di tipo senza fili o "wireless".

Vantaggiosamente, in una forma realizzativa alternativa schematicamente illustrata ad esempio nella figura 3 in
10 linea tratteggiata, il sistema di elaborazione dati 130 è integrato all'interno dello strumento 100.

In uso, come sarà di seguito meglio chiarito, il sensore 101 converte l'immagine formata dal sistema ottico 104 in un segnale elettrico analogico o digitale che viene
15 inviato, attraverso il sistema di comunicazione 110, all'unità di elaborazione dati esterna 130.

Secondo quanto noto, con asse ottico si intende l'asse sostanzialmente individuato dal centro del sensore, ovvero dalla regione attiva del sensore, e dal centro
20 della lente del sistema ottico.

Con percorso ottico si intende il percorso passante per la lente del sistema ottico e definito fra la generica sorgente luminosa che si sta osservando ed il centro del sensore.

25 In altre parole, con percorso ottico si intende il percorso che percorre il generico raggio per giungere dalla sorgente al sensore attraverso il sistema ottico.

Il sensore e la lente definiscono nel complesso il campo di vista dello strumento ovvero quella regione dello
30 spazio in cui le sorgenti luminose emettono raggi che attraverso il sistema ottico giungono sul sensore.

Il percorso ottico risulta pertanto definito all'interno del campo di vista.

Lo strumento 100 comprende una pluralità di filtri passabanda 105 inseribili, con le modalità di seguito descritte, lungo il percorso ottico.

Ciascun filtro 105 ha una predeterminata banda passante. Nella preferita forma realizzativa illustrata, i filtri 105 sono disposti da parte opposta al sensore 101 rispetto al sistema ottico 104.

10 In altre parole, i filtri 105 sono posizionabili lungo il percorso ottico fra una sorgente luminosa 133 ed il sistema ottico 104.

Con riferimento alle figure, si osservi che il filtri 105 sono raffigurati inclinati per evitare indesiderati effetti di riflessione delle onde incidenti.

15 I filtri 105 sono configurati in modo da separare una radiazione incidente 128 in due bande spettrali complementari. In pratica, lungo il percorso ottico sono inseriti, alternativamente, i filtri passabanda 105 che separano lo spettro della radiazione incidente 128 in due bande spettrali complementari.

Preferibilmente, una prima banda o porzione di radiazione quasi monocromatica 129 viene trasmessa verso il sensore 101 mentre una seconda banda o porzione, non illustrata, complementare alla prima porzione 129, viene riflessa verso l'esterno dello strumento 100.

25 Con particolare riferimento alle figure 1 e 2, si osserva che lo strumento 100 comprende una ruota o supporto porta-filtri 106 avente asse di rotazione 112.

30 I filtri passabanda 105, tre nella forma realizzativa illustrata nella figura 2, sono supportati dalla ruota

106 e sono disposti radialmente e hanno tutti la stessa distanza "d" dall'asse di rotazione 112 della ruota 106. In particolare, la distanza "d" è tale per cui ciascun filtro 105 possa essere posizionato allineato con l'asse ottico del sistema ottico 104 mediante opportune rotazioni della ruota 106.

Lo strumento 100 comprende un motore elettrico 107 comandato dal citato circuito elettronico 102.

Entrando maggiormente nel dettaglio, lo strumento 100 comprende preferibilmente un foto accoppiatore 111, di tipo sostanzialmente noto, collegato ed in comunicazione con il circuito 102 per pilotare il posizionamento dei filtri 105.

In altre parole, i filtri 105 vengono posizionati alternativamente lungo il percorso ottico dalla ruota porta-filtri 106 messa in rotazione dal motore elettrico 107 comandato dal circuito elettronico 102.

Il comando per la registrazione dell'immagine o scatto fotografico viene fornito al sensore 101 dal foto accoppiatore 111 collegato al circuito elettronico 102.

In particolare, il foto-accoppiatore 111 permette di dare il comando di scatto al sensore 101 quando uno dei filtri passabanda 105 è inserito lungo il percorso ottico.

Come sarà di seguito meglio chiarito, lo strumento 101 comprende un elemento otturatore 117 o otturatore sostanzialmente opaco alla radiazione luminosa per oscurare il campo di vista del foto-accoppiatore 111.

In pratica, il foto-accoppiatore 111 fornisce il comando di scatto al sensore 101 quando il campo di vista dello strumento 100 è oscurato dall'elemento 117, in modo da

identificare l'elemento di riferimento della sequenza di immagini acquisite dal sensore.

Preferibilmente, secondo quanto illustrato, lo strumento 100 comprende un filtro attenuatore 108 a densità neutra.

Vantaggiosamente, essendo come accennato il tempo di esposizione del sensore inferiormente limitato, il filtro attenuatore 108 impedisce che al sensore 101 giunga troppa luce.

Vantaggiosamente, il filtro 108 è supportato e mantenuto inserito lungo il percorso ottico.

Preferibilmente, inoltre, lo strumento 100 comprende una finestra protettiva 109.

Preferibilmente la finestra 109 è sostanzialmente trasparente.

In altre parole, lungo il percorso ottico sono preferibilmente inseriti il filtro attenuatore 108 a densità neutra e la finestra protettiva 109 sostanzialmente trasparente.

Nella preferita forma realizzativa illustrata, lo strumento 100 comprende un supporto 125 per il filtro 108 e per la finestra protettiva 109.

Vantaggiosamente, il filtro 108 e la finestra 109 sono mantenuti in posizione dal supporto 125 che provvede a mantenere costante la loro inclinazione rispetto all'asse ottico dello strumento 100 per evitare riflessi indesiderati verso il sensore 101.

Vantaggiosamente, lo strumento 100 comprende un corpo di contenimento 123 o contenitore all'interno del quale sono alloggiati il sensore 101, il circuito stampato 102 e la camera ottica 103.

Il sistema ottico 104 è anch'esso inserito all'interno del corpo 123 che è provvisto di un'apertura 301 attraverso la quale la radiazione di interesse, preferibilmente quella solare, raggiunge il sistema ottico 104.

Il supporto 125 è posizionato sostanzialmente coassiale con l'apertura 301 e con il sensore 101.

Con riferimento alla figura 4, si osserva in una vista schematica come appare esternamente lo strumento 100.

Il contenitore 123 è preferibilmente impermeabile e stagno e comprende un supporto 120.

Preferibilmente, il supporto 120 comprende una pluralità di regolazioni meccaniche, non illustrate, che permettono di regolare finemente l'inclinazione dello strumento 100 rispetto al piano su cui viene fissato lo strumento 100 stesso.

Come accennato, una delle superfici esterne del contenitore 123 presenta l'apertura 301 nella quale è fissata la citata finestra 109 sostanzialmente trasparente che permette alla radiazione solare diretta di entrare all'interno dello strumento 100.

Secondo quanto illustrato e accennato, lo strumento 100 è collegato all'unità di elaborazione dati esterna 130 attraverso il sistema di comunicazione 110 preferibilmente definito da un collegamento elettrico o alternativamente e preferibilmente da un collegamento wireless.

Entrando maggiormente nel dettaglio relativamente alla ruota porta-filtri 106, con riferimento alla figura 2, si osserva che, come accennato, il supporto 106 rotante porta filtri ruota attorno all'asse 112.

Il supporto 106 ospita una pluralità di filtri 105 posizionabili lungo il percorso ottico in modo che lo strumento 100 sia in grado di acquisire immagini della sorgente 133 a differenti lunghezze d'onda in funzione del filtro 105 utilizzato.

Nella preferita forma realizzativa illustrata, i filtri consentono il passaggio delle lunghezze d'onda 500nm, 700nm e 900nm.

Preferibilmente, i filtri 105 sono installati nella ruota 106 ad una distanza "d" costante dall'asse 112.

La sincronizzazione dello scatto fotografico del sensore 101 con il passaggio di uno dei filtri 105 lungo il percorso ottico viene opportunamente segnalata.

In particolare, il supporto 106 comprende una pluralità di riferimenti 115 e 124.

Preferibilmente, nella configurazione illustrata a titolo di esempio, i riferimenti 115 sono definiti ciascuno da uno scasso praticato sul bordo 106a del supporto porta-filtri 106 e sono previsti radialmente allineati con un relativo filtro 105.

Lo strumento 101 comprende, come accennato, un foto-accoppiatore opto-elettronico 111 di tipo sostanzialmente noto.

In particolare, il foto-accoppiatore 111 permette di dare il comando di scatto al sensore 101 al passaggio dei riferimenti 115 ovvero quando uno dei filtri passabanda 105 è inserito lungo il percorso ottico.

Vantaggiosamente, la ruota porta filtri 106 è realizzata in modo che uno dei riferimenti, indicato per chiarezza con il riferimento 124 in figura 2, sia posizionato sulla ruota 106 in maniera tale che, quando il foto-

accoppiatore 111 intercetta il riferimento 124, il supporto rotante porta filtri 106 intercetti sostanzialmente tutta la radiazione luminosa entrante dalla finestra 109.

- 5 In pratica, al riferimento 124 non corrisponde un filtro 105 ma il corpo della ruota 106 che intercetta tutta la radiazione luminosa e definisce il citato otturatore 117.

10 In tal modo, all'istante di acquisizione corrispondente al riferimento 124, corrisponderà una immagine nera che consente di ordinare le immagini acquisite attraverso i filtri 105.

Ciascun filtro 105 consente l'acquisizione di una immagine della sorgente luminosa indagata ad una precisa
15 lunghezza d'onda.

Tuttavia, il risultato di una sequenza di scatti sarebbe una successione di immagini che non consente di attribuire, per ogni immagine, la lunghezza d'onda di acquisizione ovvero del filtro 105 in uso in quel
20 momento.

La presenza nelle successioni di immagini dell'immagine acquisita in corrispondenza del riferimento 124 consente di ordinare le altre e conoscere, per ciascuna immagine, la lunghezza d'onda di acquisizione.

- 25 Con riferimento alla figura 3, si osserva una seconda forma realizzativa dello strumento 100 secondo la presente invenzione.

Lo strumento 100 è descritto in modo dettagliato relativamente alle differenze dalla forma realizzativa descritta in precedenza.
30

Lo strumento 100 comprende il sensore 101, dotato di una

matrice di pixel, montato sul circuito stampato 102. Il sensore 101 è racchiuso nella camera ottica 103 sulla quale è fissato il sistema ottico 104 il cui piano focale giace sulla superficie sensibile del sensore 101.

5 Il sensore 101 converte l'immagine formata dal sistema ottico 104 in un segnale elettrico, analogico o digitale, che viene inviato attraverso il sistema di comunicazione 110 all'unità di elaborazione dati esterna 130.

10 Si osservi che in questa forma realizzativa, lo strumento 100 comprende un solo filtro passabanda 116. Il filtro 116 è inserito nel percorso ottico dello strumento 100 ed è compreso nello stesso percorso ottico.

15 Il filtro 116 separa lo spettro della radiazione incidente 128 in due bande spettrali complementari. Una prima banda di radiazione quasi monocromatica 129 viene trasmessa verso il sensore 101, mentre una seconda porzione, complementare a detta prima porzione 129 viene
20 riflessa verso l'esterno.

Il comando per la registrazione dell'immagine viene fornito al sensore dall'unità esterna di elaborazione dati 130.

Alternativamente, lo strumento 100 comprende un
25 temporizzatore, schematizzato in linea tratteggiata con un relativo blocco 131, preferibilmente previsto nel sensore 101.

Il temporizzatore 131, come accennato, fornisce al sensore 101 il comando per la registrazione
30 dell'immagine.

Nella preferita forma realizzativa illustrata, lungo il

percorso ottico sono inseriti anche il filtro
attenuatore 108 a densità neutra e la finestra
protettiva 109.

Preferibilmente, il filtro 108 e la finestra 109 sono
5 mantenuti in posizione dal supporto 125 che provvede a
mantenere costante la loro inclinazione rispetto
all'asse ottico del sistema al fini di evitare riflessi
verso il sensore 101.

La figura 5 illustra schematicamente una forma
10 applicativa dello strumento 100.

Data una pluralità di convertitori solari complanari
200, lo strumento 100 è montato solidalmente alla
struttura 202 di sostegno degli stessi.

Lo strumento 100 viene posizionato in modo che il suo
15 asse ottico 137 sia sostanzialmente allineato alla
direzione perpendicolare alla superficie individuata dai
convertitori solari 200.

La struttura di sostegno 202 comprende un sistema di
movimentazione 201 o di inseguimento solare che provvede
20 ad allineare la normale al piano dei convertitori solari
200 con la direzione da cui provengono i raggi solari
230.

Vantaggiosamente, lo strumento 100 permette di
verificare che il sistema di posizionamento 201 sia
25 efficace ed operi in modo che sia massimizzata l'energia
prodotta dai convertitori 200.

Il sistema ottico 104 dello strumento 100 oggetto della
presente invenzione consente di formare l'immagine di
una sorgente luminosa, in particolare e preferibilmente
30 della sorgente solare, indicata con il riferimento 133
nella figura 1, sul sensore 101 dotato della matrice di

pixel.

Il sensore 101 è vantaggiosamente in grado di convertire l'intensità radiante di detta immagine in un segnale elettrico che può essere successivamente digitalizzato.
5 Preferibilmente, il sensore 101 è di tipo CCD o, alternativamente, CMOS.

Il sensore 101 comprende, come accennato, una regione attiva o superficie sensibile 134 di tipo sostanzialmente noto.

10 Con particolare riferimento alla figura 6, si osserva che la regione attiva 134 del sensore 101 individua, come accennato, attraverso il sistema ottico 104, una porzione 136 dello spazio definita come "campo di vista".

15 Il campo di vista è tale che eventuali sorgenti luminose puntiformi isotrope poste all'interno di detto campo di vista possiedano almeno una prima frazione della radiazione emessa che viene inviata dal sistema ottico 104 sulla superficie sensibile 134 del sensore.

20 Lungo il percorso ottico che la radiazione percorre per arrivare al sensore 101, sono posti i filtri ottici passabanda 105 che trasmettono la prima porzione della radiazione incidente 129 verso il sensore 101.

Come accennato i filtri 105 riflettono o assorbono la
25 porzione dello spettro complementare alla porzione 129. In questo modo è possibile formare su detto sensore 101 immagini quasi monocromatiche della sorgente solare ovvero immagini contenenti una banda ridotta di lunghezze d'onda.

30 La banda di lunghezze d'onda ovvero la banda della porzione 129 dello spettro trasmessa al sensore 101, è

preferibilmente inferiore a 50 nm e ancora più preferibilmente inferiore o uguale a 10 nm in modo da poter considerare la risposta spettrale del sensore fotoelettrico 101 costante su tale intervallo di
5 lunghezze d'onda.

Quando il sole giace all'interno del campo di vista 136 del sistema ottico 104, la sua immagine viene a formarsi sulla superficie sensibile 134 del sensore 101. L'interposizione di uno dei filtri 105 permette di
10 rendere l'immagine che si forma sul sensore sostanzialmente monocromatica.

Vantaggiosamente, lo strumento 100 comprende un filtro polarizzatore 113 per attenuare l'intensità della radiazione che giunge sul sensore 101.

15 Preferibilmente, lo strumento 100 comprende una pluralità di filtri polarizzatori 113 opportunamente combinati.

In pratica, i filtri polarizzatori, opportunamente combinati, assolvono le stesse funzione dei filtri
20 attenuatori 108.

Al fine di garantire la protezione almeno del sistema ottico 104 dagli agenti atmosferici esterni, lo strumento 100 comprende una protezione ottica trasparente 114.

25 Le immagini monocromatiche raccolte dal sensore 101 vengono inviate in formato digitale attraverso il sistema di comunicazione 110, di tipo elettrico o senza fili (wireless) all'unità di elaborazione dati 130.

Preferibilmente, il sensore 101 è impostato per
30 acquisire immagini alla massima frequenza possibile.

L'unità di elaborazione dati 130 calcola, dalle immagini

raccolte dal sensore 101, una mappa di irradianza sul piano del sensore stesso 101.

Più precisamente, l'unità di elaborazione dati 130 calcola la mappa di irradianza sul piano del sensore 101 grazie alla curva di risposta spettrale del sensore stesso 101.

Affinché il risultato del calcolo dell'irradianza sia preciso, occorre che il valore di risposta spettrale del sensore 101 sia costante all'interno dell'intervallo di lunghezze d'onda che concorrono a formare le singole immagini monocromatiche.

Grazie ad un calcolo della propagazione inversa dei raggi dal sensore alla superficie di ingresso del sistema ottico 104 è possibile risalire alla densità spettrale di potenza della radiazione incidente 128 sullo strumento 100.

Vantaggiosamente infatti, è opportuno che lo strumento 100 fornisca indicazione della densità spettrale di potenza della radiazione all'ingresso del sistema ottico che è differente dalla densità spettrale della radiazione sul sensore 101.

La densità spettrale di potenza della radiazione all'ingresso del sistema ottico corrisponde, in applicazione, alla densità spettrale di potenza della radiazione sui convertitori.

Il sensore infatti fornisce la densità spettrale sul piano del sensore stesso, la curva di risposta spettrale fornisce indicazione di come passare dalle unità digitali arbitrarie alla potenza $(\frac{W}{m^2})$ ad una predeterminata lunghezza d'onda sul sensore.

Per la presente trattazione è di interesse la potenza in ingresso al sistema ottico 104 che funge da concentratore della potenza sul sensore 101 e pertanto occorre calcolare la potenza in ingresso.

5 Vantaggiosamente, tale calcolo, si basa sulla divergenza angolare intrinseca del sole così da poter calcolare la potenza in ingresso al sistema ottico prima della concentrazione sul sensore dovuta al sistema ottico dello strumento.

10 In altre parole lo strumento 100 è dotato di una fotocamera digitale, definita in sintesi dal sensore 101 e dal sistema ottico 104, in grado di raccogliere una pluralità di immagini monocromatiche della sorgente solare corrispondenti a diverse lunghezze d'onda. Detta
15 pluralità viene comunemente indicata come "datacube".

Il "datacube" viene successivamente inviato al sistema di elaborazione dati 130 che, grazie ad una metodologia di calcolo meglio descritta in seguito, permette di ricavare la distribuzione angolare della radiazione
20 incidente e una misura della irradianza diretta sul piano normale alla direzione da cui provengono i raggi. L'analisi di "datacube" successivi permette di rappresentare l'evoluzione temporale dei due parametri calcolati dall'elaboratore (distribuzione angolare della
25 radiazione incidente e irradianza sul piano normale alla radiazione).

Grazie alla elaborazione digitale delle singole immagini di ciascun "datacube" è possibile ricavare una pluralità di informazioni per la valutazione della efficienza di
30 conversione dei convertitori 200 e sulla affidabilità del sistema di inseguimento solare 201.

Per ricavare l'irradianza diretta su tutto lo spettro solare a partire da un numero ridotto di misure della densità spettrale di potenza ricavate dalle corrispondenti immagini acquisite dal sensore 101 a
5 predeterminate lunghezze d'onda, è stato individuato, come accennato, un preferito procedimento di calcolo di seguito descritto con riferimento alla figura 7.

Più in particolare, il sensore misura un'intensità che corrisponde ad un contenuto energetico; conoscendo la
10 larghezza di banda grazie al filtro 105 utilizzato, si ricava la densità spettrale di potenza ovvero il contenuto energetico della banda che è passata attraverso il filtro 105 misurata in $\frac{W}{m^2nm}$.

Utilizzando la pluralità di immagini monocromatiche o
15 "datacube", l'unità di elaborazione dati 130 calcola l'irradianza diretta sul piano normale alla direzione da cui provengono i raggi solari.

Vantaggiosamente, il calcolo dell'irradianza avviene senza l'ausilio di uno strumento aggiuntivo a larga
20 banda come il pireliometro.

Preferibilmente, l'unità di elaborazione dati 130 calcola la distribuzione angolare della radiazione incidente e ne individua il "centroide" o "punto al centro". Il confronto di più "datacube" acquisiti in
25 momenti successivi permette di calcolare precisamente lo spostamento angolare tra l'asse ottico (137) dello strumento 100 e la direzione da cui provengono i raggi 230. Questo parametro costituisce l'elemento essenziale per valutare l'errore angolare commesso dal sistema di
30 inseguimento. L'unità di elaborazione dati 130 permette,

inoltre, di registrare l'evoluzione temporale dell'errore commesso dal sistema di inseguimento 201 e di rappresentarlo sotto forma di grafico o tabella.

5 In una prima forma di implementazione, il procedimento secondo la presente invenzione per il calcolo della irradianza sul piano normale alla direzione da cui proviene la radiazione luminosa esterna comprende una fase di acquisizione nella quale vengono acquisite, mediante lo strumento 100 una pluralità di immagini
10 sostanzialmente monocromatiche ovvero presentanti una predeterminata lunghezza d'onda.

Il procedimento comprende una fase di calcolo dell'irradianza in cui, per ciascuna delle immagini sostanzialmente monocromatiche acquisite dal sensore 101
15 viene calcolata la mappa dell'irradianza sul piano del sensore 101.

Il procedimento comprende una seconda fase di calcolo in cui, per ciascuna delle lunghezze d'onda a cui sono state acquisite le immagini, viene calcolata la
20 distribuzione angolare dell'intensità luminosa.

Il procedimento comprende una terza fase di calcolo in cui, per ciascuna delle lunghezze d'onda a cui sono state acquisite le immagini, viene calcolata la distribuzione angolare dell'intensità luminosa.

25 Il procedimento comprende una quarta fase di calcolo in cui, per ciascuna delle lunghezze d'onda a cui sono state acquisite le immagini, viene calcolata la densità spettrale di potenza in ingresso allo strumento (100).

Il procedimento comprende una quinta fase di calcolo in
30 cui, tramite una combinazione delle densità spettrali di potenza, viene calcolata l'irradianza sul piano

perpendicolare alla direzione di provenienza della radiazione.

Con riferimento al diagramma a blocchi illustrato nella figura 7 si osservi altresì quanto segue.

5 L'immagine che il sistema 1 acquisisce non deve essere satura, ovvero non deve essere tutta bianca o tutta nera.

In una fase di inizializzazione, viene configurata, in particolare, la velocità di acquisizione delle immagini.

10 Una volta acquisita l'immagine si verifica che il tempo di esposizione sia corretto ovvero che l'immagine non risulti satura. In tal caso va modificato il tempo di esposizione.

15 Al fine dell'acquisizione dell'immagine, del Sole in particolare, per il calcolo del centroide occorre eliminare dal calcolo i pixel per i quali corrisponde un rumore indesiderato ovvero si impone all'unità di elaborazione di considerare, per i calcoli, solamente i pixel che hanno un valore superiore ad una
20 predeterminata soglia.

Il valore digitale dei pixel di interesse viene quindi integrato.

Come accennato è quindi calcolata l'irradianza sul piano del sensore e successivamente sul piano della lente
25 ovvero all'ingresso del sistema ottico 104.

Forma oggetto della presente invenzione anche un procedimento per il calcolo dell'angolo di disallineamento tra l'asse ottico dello strumento 100 e la direzione da cui proviene la radiazione luminosa
30 esterna che si vuole indagare.

Questo procedimento comprende una fase di acquisizione

dell'immagine della sorgente luminosa.

In una prima fase di calcolo viene determinata la mappa di intensità sul piano del sensore 101.

5 In una seconda fase di calcolo, viene determinato il centroide della distribuzione luminosa corrispondente alla immagine della sorgente luminosa esterna.

In una terza fase di calcolo viene determinata la distanza tra il centroide e il centro della superficie sensibile 134 del sensore.

10 In una quarta fase di calcolo, viene calcolato l'angolo corrispondente al disallineamento tra l'asse ottico dello strumento 137 e la direzione media da cui provengono i raggi luminosi.

15 Forma oggetto della presente invenzione anche un procedimento per il calcolo dell'angolo di disallineamento tra due posizioni successive dello strumento 100.

20 Il procedimento per il calcolo dell'angolo di disallineamento tra due posizioni successive dello strumento 100 comprende una fase di acquisizione di una prima immagine della sorgente luminosa.

Successivamente viene calcolata la mappa di intensità sul piano del sensore 101.

25 Il procedimento comprende quindi una fase di calcolo delle coordinate del centroide della distribuzione luminosa corrispondente alla prima immagine della sorgente luminosa esterna ed una fase di memorizzazione di tali coordinate.

30 Viene quindi acquisita una seconda immagine della sorgente luminosa in un istante di tempo successivo a quello di acquisizione della prima immagine.

Relativamente a questa seconda acquisizione, viene calcolata la mappa di intensità sul piano del sensore 101.

5 Il procedimento prevede quindi di calcolare le coordinate del centroide della distribuzione luminosa corrispondente alla seconda immagine della sorgente luminosa esterna ed una fase di memorizzazione di tali coordinate.

10 Il procedimento comprende quindi una fase di calcolo del vettore che individua la variazione delle coordinate dei due centroidi memorizzati; il procedimento comprende poi una fase di calcolo dell'angolo di disallineamento individuato dal vettore ricavato al punto precedente.

15 Nel diagramma a blocchi di figura 8 sono schematizzate le fasi descritte, unitamente alle fasi di calibrazione sostanzialmente analoghe a quelle descritte in precedenza.

L'invenzione come descritta consegue importanti vantaggi.

20 Il sistema 1 opto-elettronico di misura, come accennato, permette il calcolo dell'irradianza globale, ovvero integrata su tutto lo spettro di lunghezze d'onda, a partire da almeno una radiazione monocromatica e pertanto presenta un'architettura estremamente più
25 semplice rispetto agli strumenti noti.

Lo strumento 100 permette di ridurre notevolmente la complessità degli strumenti spettro-radiometrici per misurazioni di irradianza solare.

30 Lo strumento 100 consente di limitare la rilevazioni monocromatiche a poche lunghezze d'onda.

In particolare, essendo relativamente ristretta la banda

all'interno della quale occorre effettuare le misurazioni, è possibile utilizzare un sensore 101 al silicio, la cui banda di risposta spettrale si estende tipicamente da 300 a 1100 nm.

5 Tra le varie tipologie di elementi fotosensibili in silicio che possono essere utilizzati secondo la presente invenzione, vi sono, a seconda della loro architettura interna, le matrici di pixel, comunemente indicate come sensori CMOS, CCD o PSD.

10 I sensori matriciali di tipo CMOS, CCD o PSD offrono inoltre la possibilità di risalire alla distribuzione spaziale di intensità radiante sul piano degli elementi fotosensibili.

Preferibilmente, il sistema ottico 104 dello strumento 1
15 comprende lenti acromatiche, in tal modo, ponendo la superficie attiva di detti sensori sul piano focale di una lente acromatica che corregge le aberrazioni cromatiche, è possibile associare ad ogni punto del piano immagine, e quindi ad ogni pixel del sensore 101,
20 una particolare direzione da cui provengono i raggi.

In tal modo, è possibile ricavare la distribuzione angolare dall'immagine sul sensore 101 indipendentemente dalla lunghezza d'onda.

Dalla immagine raccolta dal sensore 101 è possibile
25 ricavare, con opportuni calcoli, la distribuzione angolare della radiazione incidente e quindi l'errore di allineamento tra la direzione da cui provengono i raggi e l'asse ottico dello strumento.

Interponendo lungo il percorso ottico un filtro
30 passabanda, con larghezza di banda relativamente ridotta, la radiazione che giunge al sensore (101) è da

considerarsi, a tutti gli effetti, monocromatica e quindi è possibile ottenere la distribuzione angolare della radiazione ad una determinata lunghezza d'onda.

Il procedimento, come descritto, permette, a partire da
5 una pluralità di immagini monocromatiche raccolte a lunghezze d'onda diverse, di risalire alla distribuzione angolare di intensità radiante e alla irradianza globale diretta a cui è esposto lo strumento 100. Queste due informazioni costituiscono i parametri fondamentali che
10 è necessario conoscere per valutare sia l'efficienza di conversione di un sistema solare tracciante sia per stimare l'errore di puntamento con elevata precisione.

La presente invenzione è quindi relativa ad un sistema optoelettronico comprendente sostanzialmente una
15 fotocamera digitale dotata di filtri di attenuazione a densità neutra e di uno o più filtri ottici passabanda in grado di raccogliere una serie di immagini monocromatiche che vengono successivamente elaborate da un sistema di elaborazione al fine di ricavare l'errore
20 angolare tra la direzione da cui provengono i raggi solari e l'asse ottico dello strumento stesso.

Lo strumento 100 consente altresì di ricavare la distribuzione angolare della densità spettrale di potenza per ciascuna delle immagini monocromatiche
25 raccolte dalla fotocamera.

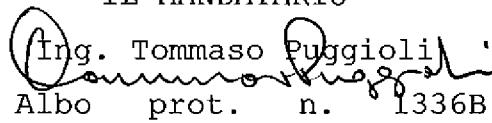
Lo strumento 100 consente di ottenere indicazione della irradianza solare diretta estrapolata per l'intero spettro di emissione solare a partire da acquisizioni di immagini monocromatiche.

30 Lo strumento 100 può vantaggiosamente essere montato solidalmente alla struttura di supporto di un sistema di

inseguimento solare per moduli fotovoltaici o termici e
provvedere quindi ad indicare una indicazione
dell'errore commesso dal sistema di inseguimento.

Lo strumento 100 permette contemporaneamente di fornire
5 una misura dell'irradianza solare diretta sul piano
perpendicolare alla radiazione solare.

IL MANDATARIO


Ing. Tommaso Puggioli
Albo prot. n. 1336B

RIVENDICAZIONI

1. Sistema opto-elettronico per misure radiometriche su una radiazione luminosa (128) emessa da una sorgente luminosa (133) **caratterizzato dal fatto** di comprendere:

- 5 - uno strumento (100) comprendente un sensore (101) provvisto di una matrice di pixel per registrare almeno un'immagine di detta sorgente luminosa;
- un sistema ottico (104) associato a detto sensore (101) per formare l'immagine di detta sorgente luminosa su detto sensore (101), detto sensore (101) e detto sistema ottico (104) definendo il campo di vista (136) di detto strumento;
- 10 - detto strumento (100) comprendendo inoltre almeno un filtro passabanda (105) intercettante detto campo di vista in modo che detta immagine sia sostanzialmente monocromatica, detto sistema comprendendo una unità di elaborazione (130) associata a detto sensore (101) per acquisire detta immagine sostanzialmente monocromatica e determinare l'irradianza di detta sorgente luminosa
- 15 (133) a partire da detta immagine sostanzialmente monocromatica.
- 20

2. Sistema opto-elettronico secondo la rivendicazione 1, **caratterizzato dal fatto** che detta unità di elaborazione (130) permette di calcolare la distribuzione angolare di detta radiazione luminosa a partire da detta immagine monocromatica.

25

3. Sistema opto-elettronico secondo la rivendicazione 1 o 2, **caratterizzato dal fatto** che detto filtro passabanda (105) ha banda passante di 700 nm.

30 4. Sistema opto-elettronico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, **caratterizzato dal fatto**

che detto strumento (100) comprende una pluralità di filtri passabanda (105) ciascuno dei quali caratterizzato da una rispettiva banda passante e mezzi di posizionamento (106, 107) operativamente attivi su
5 detti filtri passabanda (105) per posizionare detti filtri passabanda (105) nel campo di vista di detto strumento (100).

5. Sistema opto-elettronico secondo la rivendicazione 4, **caratterizzato dal fatto** che detti mezzi di
10 posizionamento (106, 107) comprendono un supporto porta filtri (106) girevole attorno ad un asse di rotazione (112), detti filtri passabanda (105) essendo installati su detto supporto porta filtri(106).

6. Sistema opto-elettronico secondo una qualsiasi
15 delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzato dal fatto** che detto strumento (100) comprende dei mezzi di pilotaggio (111, 115, 124) di detto sensore (101) associati a detto sensore (101) per inviare un comando di scatto a detto sensore (101) così da acquisire detta
20 immagine sostanzialmente monocromatica.

7. Sistema opto-elettronico secondo le rivendicazioni 5 e 6 , **caratterizzato dal fatto** che detti mezzi di pilotaggio (111, 115, 124) comprendono un foto-accoppiatore (111) associato a detto supporto (106),
25 detto supporto (106) presentando una pluralità di riferimenti (115) ciascuno corrispondente ad uno di detti filtri passabanda (105), detto foto-accoppiatore (111) fornendo il comando di scatto in corrispondenza di un allineamento con uno di detti riferimenti (115).

30 8. Sistema opto-elettronico secondo la rivendicazione 7, **caratterizzato dal fatto** che detto supporto (106)

comprende un otturatore (117) e presenta un secondo riferimento (124) in corrispondenza di detto otturatore (117), detto foto-accoppiatore (111) fornendo un comando di scatto a detto sensore (101) in corrispondenza di un
5 allineamento di detto secondo riferimento (124), detto campo di vista (136) risultando oscurato da detto otturatore (117).

9. Sistema opto-elettronico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzato dal**
10 **fatto** che detto strumento (100) comprende almeno un filtro attenuatore (108) a densità neutra disposto fra detto sensore (101) e detta sorgente luminosa (133) per attenuare l'intensità di detta radiazione.

10. Sistema opto-elettronico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzato dal**
15 **fatto** che detto strumento (100) comprende almeno un filtro polarizzatore (113) disposto fra detto sensore (101) e detta sorgente luminosa (133) per attenuare l'intensità di detta radiazione.

20 11. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, **caratterizzato dal fatto** che detta unità di elaborazione (130) è integrata in detto strumento (100).

12. Procedimento per il calcolo dell'irradianza di una radiazione luminosa proveniente da una sorgente luminosa
25 (133), **caratterizzato dal fatto** di comprendere le fasi di:

acquisizione di una pluralità di immagini sostanzialmente monocromatiche di detta sorgente (133) mediante un sistema (1) opto-elettronico per misure
30 radiometriche secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 11;

calcolo della mappa di irradianza sul piano del sensore
(101) per ciascuna delle immagini sostanzialmente
monocromatiche acquisite dallo strumento (100);

5 calcolo della distribuzione angolare della intensità
luminosa per ciascuna delle lunghezze d'onda a cui sono
state acquisite le immagini;

calcolo della densità spettrale di potenza in ingresso
allo strumento (100) per ciascuna delle lunghezze d'onda
a cui sono state acquisite le immagini sostanzialmente
10 monocromatiche;

calcolo della irradianza sul piano perpendicolare alla
direzione di provenienza della radiazione luminosa
tramite una combinazione lineare di dette densità
spettrali di potenza.

15 **13.** Procedimento per il calcolo dell'angolo di
disallineamento tra l'asse ottico del sistema opto-
elettronico per misure radiometriche secondo una
qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 11 e la direzione
da cui proviene la radiazione luminosa esterna, detto
20 procedimento essendo **caratterizzato dal fatto** di
comprendere le fasi di:

acquisizione dell'immagine della sorgente luminosa
(133);

25 calcolo della mappa di intensità sul piano del sensore
(101);

calcolo del centroide della distribuzione luminosa
corrispondente alla immagine della sorgente luminosa
(133);

30 calcolo della distanza tra detto centroide e il centro
dell'area sensibile (134) del sensore (101);

calcolo dell'angolo corrispondente al disallineamento

tra l'asse ottico di detto strumento (100) e la direzione media da cui proviene detta radiazione luminosa.

14. Procedimento per il calcolo dell'angolo di disallineamento tra due posizioni successive di uno strumento di misura (100) facente parte del sistema opto-elettronico (1) per misure radiometriche secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 11 **caratterizzato dal fatto** di comprendere le fasi di:

acquisizione di una prima immagine della sorgente luminosa (133);

calcolo della mappa di intensità corrispondente a detta prima immagine sul piano del sensore (101);

calcolo delle coordinate del centroide della distribuzione luminosa corrispondente a detta prima immagine e memorizzazione di tali coordinate;

acquisizione di una seconda immagine della sorgente luminosa (133) in un istante di tempo successivo a detta prima immagine;

calcolo della mappa di intensità corrispondente a detta seconda immagine sul piano del sensore (101);

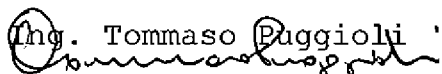
calcolo delle coordinate del centroide della distribuzione luminosa corrispondente a detta seconda immagine e memorizzazione di tali coordinate;

calcolo del vettore che individua la variazione delle coordinate dei due centroidi memorizzati;

calcolo dell'angolo di disallineamento individuato da detto vettore.

Bologna, 08.06.2010

IL MANDATARIO

Ing. Tommaso Puggioli

Albo prot. n. 1336B

CLAIMS

1. An electro-optical system for radiometric measurement of luminous radiation (128) emitted by a luminous source (133) characterised by the fact of including:
 - an instrument (100) comprising a sensor (101) which includes a pixel matrix for recording at least one image of said luminous source;
 - an optical system (104) associated with said sensor (101) for creating the image of said luminous source (133) on said sensor (101), said sensor (101) and said optical system (104) define the field of view (136) of said instrument;
 - said instrument (100) comprises, moreover, at least one bandpass filter (105) intercepting said field of view, in such a way that said image is essentially monochromatic, said system comprises a computer (130) associated to said sensor (101) for acquiring said essentially monochromatic image and for determining the irradiance of said luminous source (133) starting with said essentially monochromatic image.
2. An electro-optical system according to claim 1, characterised by the fact that said computer (130) allows the calculation of the angular distribution of said luminous radiation starting from said monochromatic image.
3. An electro-optical system according to claim 1 or 2, characterised by the fact that said bandpass filter (105) has a passband of 700nm.
4. An electro-optical system according to any of the claims from 1 to 3, characterised by the fact that said instrument (100) comprises a plurality of bandpass filters (105) each of which is characterised by its respective passband and means of positioning (106, 107) operatively active on said bandpass filters (105) necessary for positioning said bandpass filters (105) in the field of view of said instrument.
5. An electro-optical system according to claim 4, characterised by the fact that said means of positioning (106, 107) comprises a revolving filter holder (106) around a rotation axis (112), said bandpass filters (105) being installed on said holder (106).
6. An electro-optical system according to any of the preceding claims, characterised by the fact that said instrument (100) comprises the means of piloting (111, 115, 124) said sensor (101)

calculation of the angular distribution of the luminous intensity for each of the wavelengths for which the images have been acquired;

calculation of the power spectral density at entry to the instrument (100) for each of the wavelengths for which the essentially monochromatic images have been acquired;

calculation of the irradiance of the plane perpendicular to the direction of the origin of the luminous radiation by means of a linear combination of said power spectral density.

13. A procedure for the calculation of the angle of misalignment between the optical axis of the electro-optical system for radiometric measurements according to any of the claims from 1 to 11 and the direction from which the external luminous radiation originates, said procedure characterised by the fact of comprising the phases of:

acquisition of the image of the luminous source (133);

calculation of the intensity map on the plane of the sensor (101);

calculation of the centroid of the luminous distribution corresponding to the image of the luminous source (133);

calculation of the distance between said centroid and the centre of the sensitive area (134) of the sensor (101);

calculation of the angle corresponding to the misalignment between the optical axis of said instrument (100) and the average direction from which the luminous radiation originates.

14. A procedure for the calculation of the angle of misalignment between two successive positions of an instrument of measure (100) being part of the electro-optical system (1) for radiometric measurements according to any of the claims from 1 to 11 characterised by the fact of comprising the phases of::

acquisition of a first image of the luminous source (133);

calculation of the intensity map corresponding to said first image on the plane of the sensor (101);

calculation of the coordinates of the centroid of the luminous distribution corresponding to said first image and the memorisation of such coordinates;

acquisition of a second image of the luminous source (133) in an instant of time successive to said first image;

calculation of the intensity map corresponding to said second image on the plane of the sensor (101);

calculation of the coordinates of the centroid of the luminous distribution corresponding to said second image and the memorisation of such coordinates;

calculation of the vector which identifies the variation of the coordinates of the two memorised centroids;

calculation of the angle of misalignment identified by said vector.

FIG.3

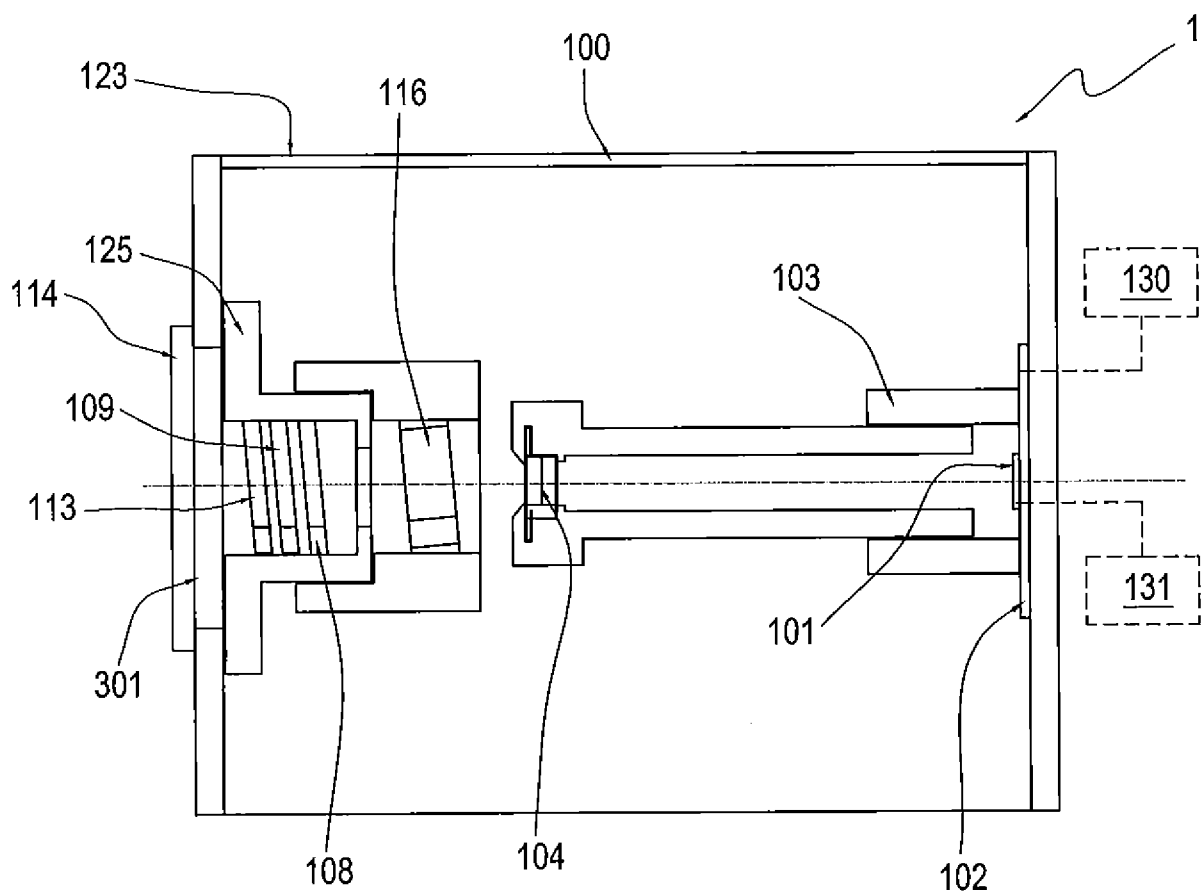


FIG.4

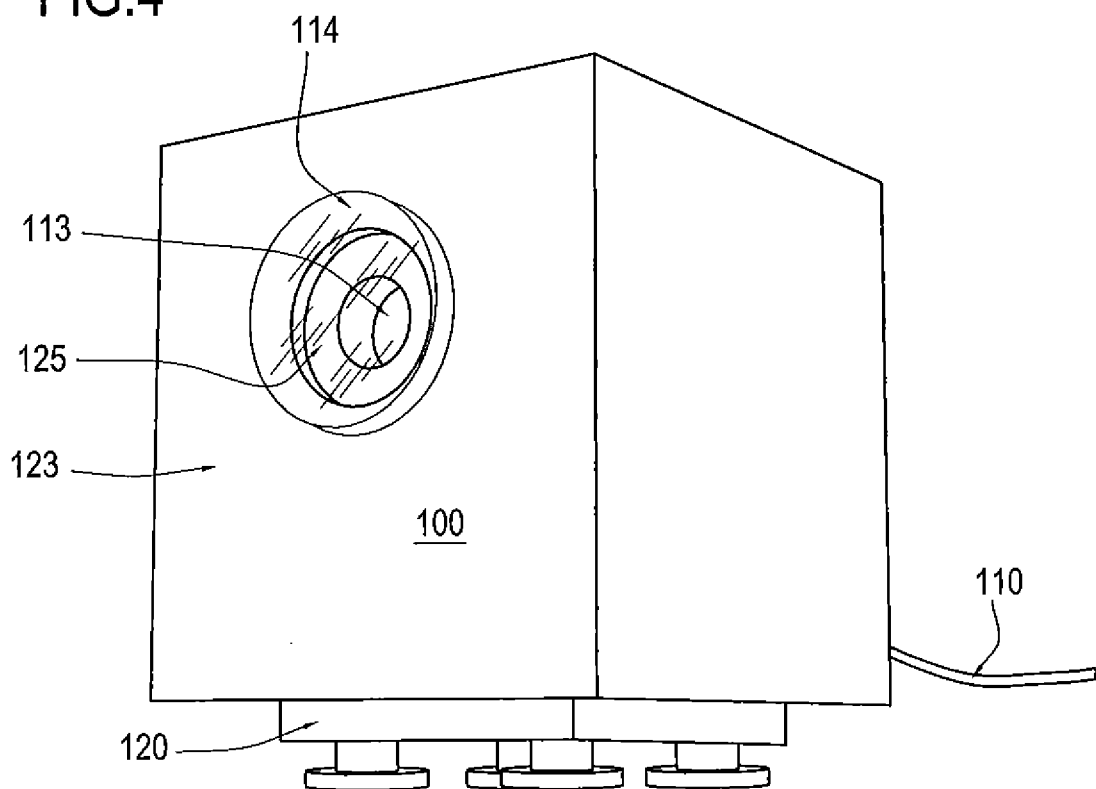


FIG.5

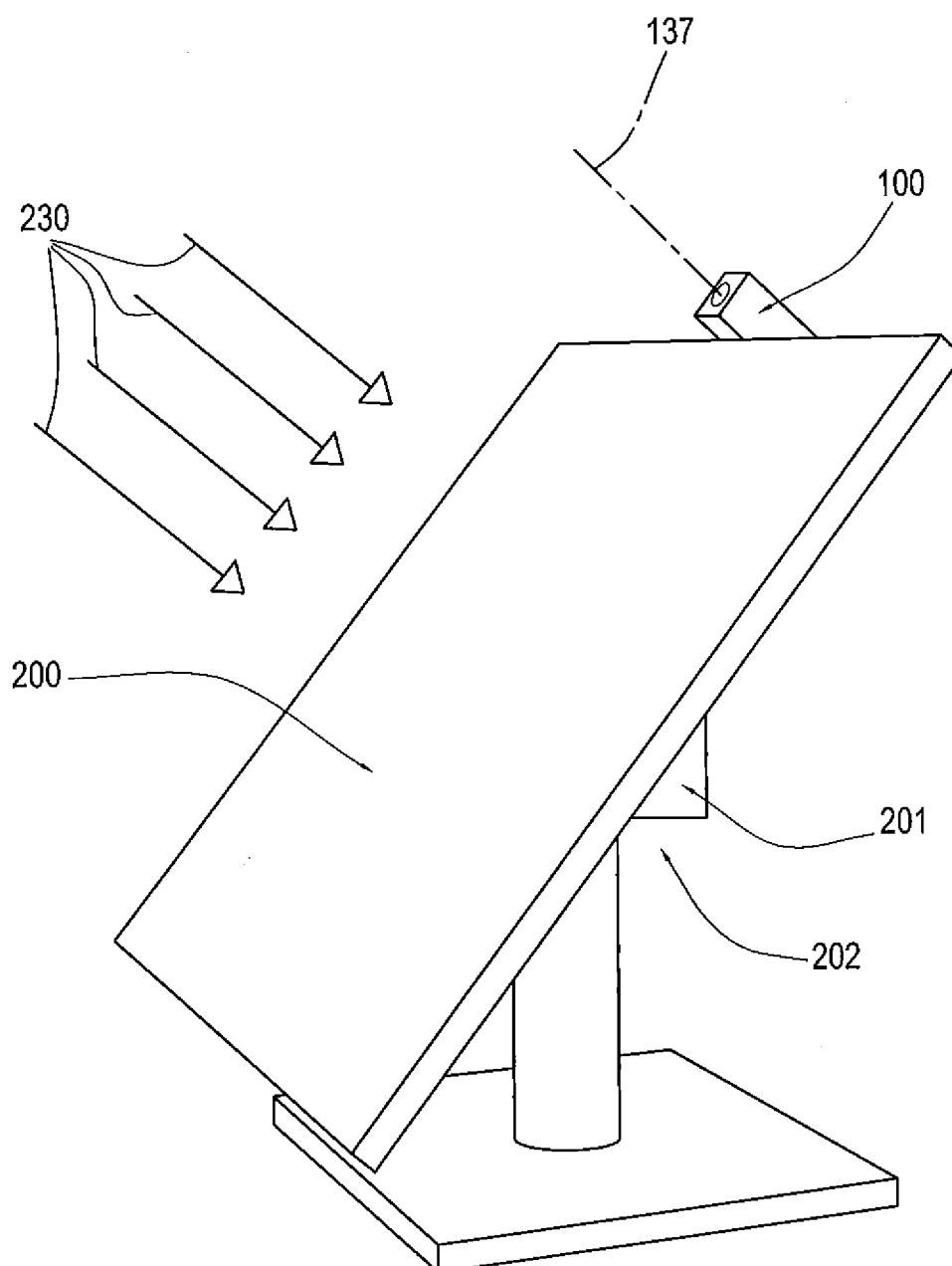


FIG.6

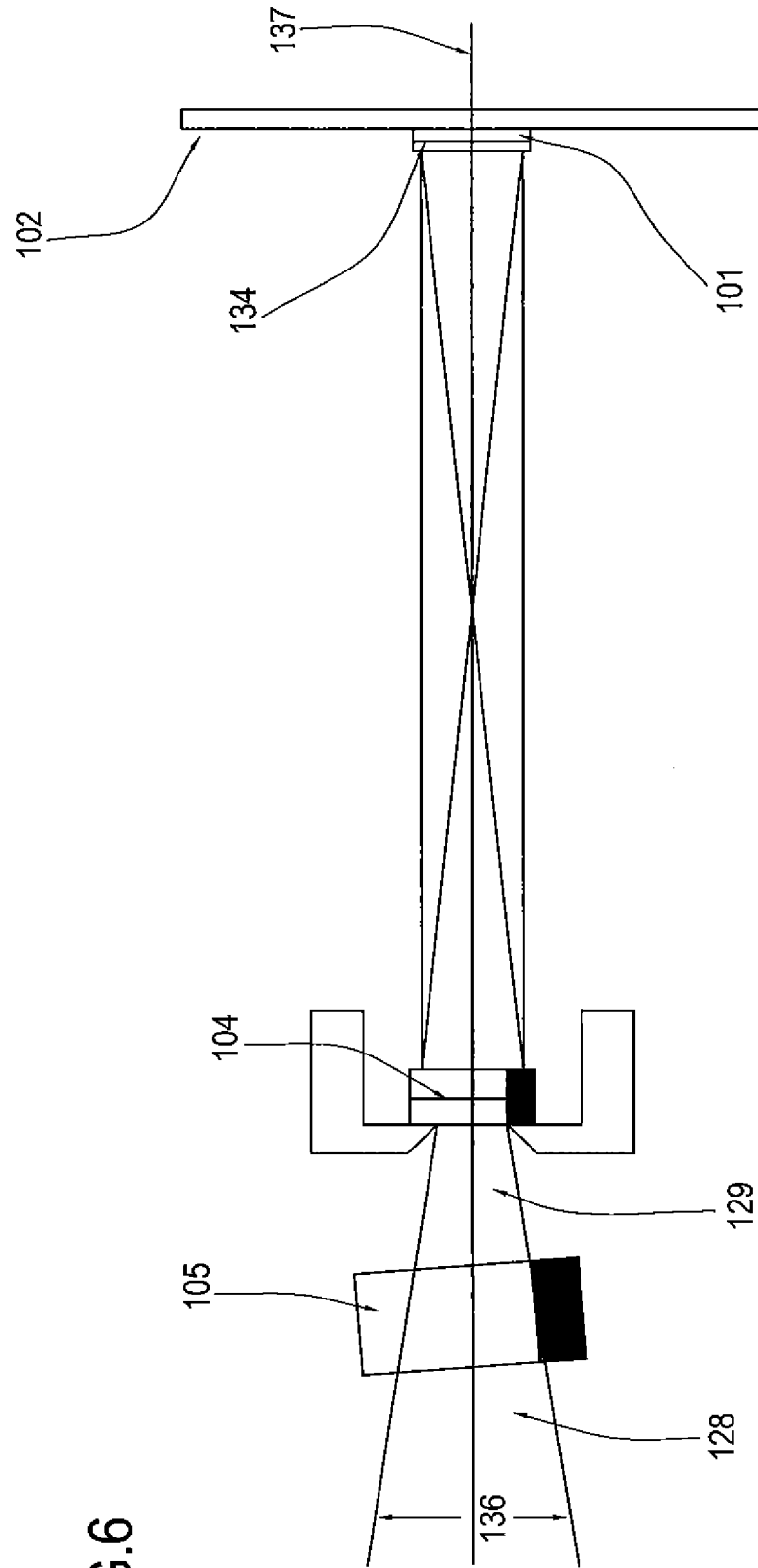


FIG.7

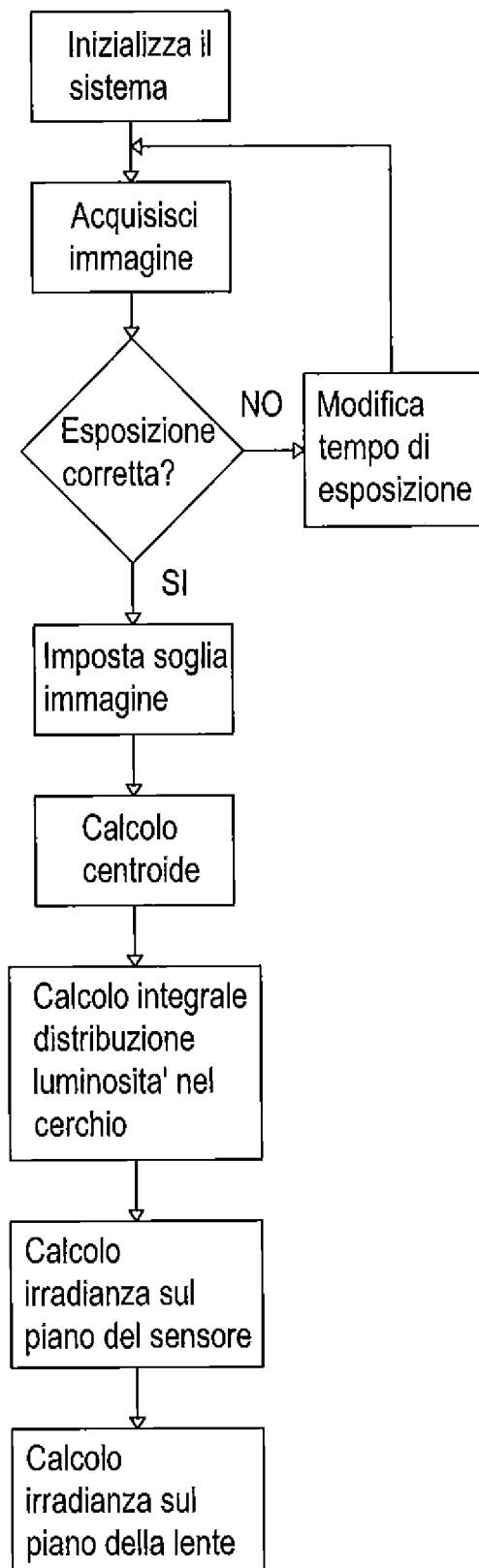


FIG.8

