

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102009901757296A1

Publication Date

20110205

Applicant

ISDI S.R.L.

Title

CONCENTRATORE SOLARE E RELATIVO PROCEDIMENTO PER IL
CONTROLLO DELLA SUA PRECISIONE OTTICA.

DESCRIZIONE

a corredo di una domanda di brevetto per invenzione dal titolo
**"Concentratore solare e relativo procedimento per il controllo della
sua precisione ottica "**

5 Titolare: ISDI S.r.l.

Inventori: ORTOLANI Francesco, PIZZINO Mario, STURIALE Giovanni,
STURIALE Giuseppe

* * *

La presente invenzione attiene al settore della tecnica degli impianti
10 solari per applicazioni termodinamiche o termochimiche in particolare ad
impianti corredati da sistemi di controllo a circuito chiuso o "attivi".
Lo stato della tecnica relativo al settore citato comprende numerosi
esempi di realizzazione e relativa documentazione brevettuale. Il primo
brevetto di concentratore solare risale al 1851 (Auguste Mouchot) e la
15 rinascita di queste macchine è iniziata dopo la crisi petrolifera del 1973.
In oltre un secolo e mezzo i progressi dei concentratori solari si sono
rivolti alla scelta dei materiali e dei cicli termodinamici progredendo
significativamente sul fronte del rendimento termodinamico, senza
tuttavia individuare soluzioni migliorative dei problemi legati
20 all'industrializzazione di massa di detti impianti. Dalla prima macchina di
Mouchot del 1849 a puntamento manuale, che generava vapore per
alimentare un motore a ciclo Rankine, alla macchina di Ericsson che nel
1872 introduceva il motore Stirling fino alle macchine attuali con
puntamento automatico, i miglioramenti attengono soprattutto al
25 parametro dell'efficienza termodinamica, sempre ritenuto la migliore
misura del successo di una implementazione e giunto oggi al notevole
traguardo del 32.9% misurato sull'intera conversione solare-elettrica.

Le soluzioni note dallo stato della tecnica hanno mirato maggiormente a ricercare un funzionamento efficiente che non la messa a punto di impianti destinati ad una produzione di massa a basso costo.

I concentratori solari oggi esistenti vengono infatti montati con processi complessi di centraggio degli specchi, basati sull'uso di dime di posizionamento e verificando gli orientamenti degli specchi con illuminatori laser.

In tali dispositivi il montaggio degli specchi va quindi realizzato in una situazione identica a quella di utilizzo finale per poterne fissare le posizioni precise con in più la complicazione della necessaria rigidità che una grande struttura (solitamente di diametro compreso fra gli 8 e i 12 metri) deve avere per mantenere la forma nel rispetto dei requisiti di precisione ottica.

Questa circostanza, unita all'esigenza di contrastare l'effetto delle dilatazioni termiche della struttura metallica, costituisce uno dei più significativi inconvenienti delle soluzioni attualmente note con evidenti ripercussioni sugli aspetti economici della produzione, del trasporto e della installazione andando così a limitare l'utilizzazione e l'installazione.

Per superare detti inconvenienti è quindi scopo della presente invenzione la realizzazione di un concentratore solare che, nel rispetto dei requisiti di precisione ottica necessari, sia tuttavia assemblabile in situ con semplici attrezzature di carpenteria evitando quindi tutti i problemi di montaggio, trasporto e simulazione tipici delle soluzioni note.

Tale scopo viene realizzato secondo la presente invenzione avendo, come idea di soluzione, quella di scomporre il concentratore in singoli elementi di specchio, corredati da sistemi di controllo autonomi, singolarmente ed indipendentemente montabili in situ su di una base di tipo tradizionale destinata a svolgere soltanto la funzione di supporto e quella di puntamento solare, la funzione di controllo e correzione degli

errori di posizione dei singoli specchi essendo invece demandata a sistemi di controllo indipendenti provvisti sui singoli specchi.

Più in particolare, tale invenzione presuppone l'utilizzazione di una pluralità di specchi montati su di una base che svolge la funzione di
5 inseguimento solare in quanto provvista di appositi sistemi di azionamento e controllo, e in cui ciascun modulo di specchio è corredato di un sistema autonomo di controllo costituito da due attuatori indipendenti che correggono solo gli errori di montaggio, cedimenti strutturali, dilatazioni termiche e simili.

10 La forma di realizzazione di concentratore solare secondo l'invenzione vede quindi due distinti ed indipendenti sistemi di controllo:

il primo relativo alla funzione di inseguimento solare effettuata esclusivamente dalla struttura di supporto su cui sono ancorati i telai portaspecchi, che presuppone come condizione necessaria per il
15 corretto funzionamento del sistema una velocità di inseguimento solare idealmente costante e il secondo relativo ad ogni singolo specchio sostenuto da un telaio attuato da due motori indipendenti destinato a captare e correggere l'errata proiezione dell'immagine solare rispetto al bersaglio del ricevitore dovuta a cause di tipo strutturale, imprecisioni di
20 montaggio, dilatazioni termiche.

L'obiettivo dell'invenzione è quindi quello di rendere facile da costruire, semplice, economica e poco critica la struttura meccanica di un concentratore solare superando gli svantaggi delle tecniche note.

Infatti, nelle soluzioni della tecnica anteriore, il conseguimento della
25 precisione ottica in modo "passivo", ovvero basato sull'allineamento statico aveva come inconvenienti:

- Il fatto che la struttura debba avere un'elevata iperstaticità, risultando quindi pesante e costosa.

- Il fatto che le operazioni di costruzione degli elementi del concentratore e dei supporti dei telai degli specchi siano soggette a complessi allineamenti laser.
- Il fatto che i giunti fra le varie sezioni del concentratore debbano essere di alta precisione per ottenere precisioni sub-millimetriche.
- Il fatto che l'imballaggio e il trasporto siano delicati e costosi.
- Il fatto che non vi siano rimedi affidabili per il problema delle dilatazioni termiche quotidiane e stagionali,

la soluzione proposta dalla presente invenzione, adottando invece una precisione ottica cosiddetta "attiva", presenta i seguenti vantaggi:

- Ogni elemento di specchio è ospitato da un telaio che ne mantiene la corretta concavità e posizione e giace su una struttura portante (architettura Fresnel) di modesta rigidità, i cui moduli sono economici da costruire, trasportare e assemblare.
- Ogni elemento di specchio intelaiato è controllato da due servocomandi digitali a zero backlash che lo orientano su due assi. Un'unità di controllo legge i sensori ottici che circondano la cavità del ricevitore solare ed esegue periodicamente gli algoritmi di centraggio degli specchi.
- Ai fini della correzione degli errori di costruzione dei moduli della struttura portante, degli errori geometrici prodotti durante il montaggio dei moduli fra loro e di quelli degli specchi sui moduli della struttura portante, subito dopo il completamento del montaggio della macchina a concentrazione solare nel suo sito di utilizzo, si esegue un apposito algoritmo di inizializzazione del centraggio degli specchi.
- Ai fini della correzione delle dilatazioni termiche giornaliere e stagionali, l'unità di controllo dei servocomandi eseguirà dei

campionamenti della situazione dilatometrica ad intervalli regolari di tempo nell'arco di una giornata e nelle diverse stagioni. Le matrici raccolte diventano una banca dati utile per le correzioni orarie veloci eseguite in veloce modalità "open loop", cioè senza ulteriore controllo sul movimento prodotto.

- Ai fini della correzione di possibili imprecisioni causate da deformazioni elastoplastiche accidentali provocate da raffiche di vento o da altre cause, da adattamenti e da cedimenti strutturali, saranno compiute delle periodiche scansioni di verifica della stabilità della struttura.

Ulteriori vantaggi della presente invenzione consistono nel fatto che:

- Il concentratore non debba più essere assemblato in fabbrica per allineare e tarare le posizioni degli specchi e non serve più un capannone di grandi dimensioni per ospitare le macchine da montare.
- Non servano più le dime paraboliche d'acciaio o di cemento armato per posizionare e saldare gli elementi del concentratore.
- Non sia più necessario il montaggio in fabbrica dei telai portaspecchi sui loro supporti e sui moduli del concentratore.
- Non sia più necessario l'allineamento laser per tarare i supporti degli specchi.
- Non dovendo più saldare i fragili supporti degli specchi sui moduli di cui è costituita la struttura di supporto del concentratore, l'imballaggio dei moduli diventi più semplice ed economico.
- Il concentratore a precisione attiva non abbia più bisogno di essere rigidissimo e possa quindi essere più leggero, meno preciso e quindi molto meno costoso.

- Diventi praticabile la fornitura di macchine *custom*, con meno specchi per i tropici, o con specchi supplementari per le latitudini maggiori.
 - Con la stessa componentistica e solo variando il numero degli specchi e/o la loro lunghezza focale si possano costruire concentratori con diverse lunghezze focali e varie aperture per ottenere i fattori di concentrazione più adatti all'utilizzo di cicli termodinamici (Rankine, Stirling, Brayton) o termochimici diversificati.
- 10 Forma pertanto oggetto specifico della presente invenzione un concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche comprendente una struttura di supporto con funzione di inseguimento astronomico solidale ad un
- 15 specchio intelaiato, caratterizzati dal fatto che detti specchi mobili sono dotati di due prime cerniere cilindriche ancorate a detta struttura di supporto, due seconde cerniere cilindriche destinate a sostenere il lato rotante di ciascuno di detti elementi di specchio, due terze cerniere sferiche per la movimentazione dell'asta radiale di detto elemento di
- 20 specchio, una asta tangenziale servoassistita innestata su cerniere per il movimento tangenziale, una seconda asta radiale servoassistita e innestata su dette seconde cerniere cilindriche, in modo tale che ciascun elemento di specchio risulti mobile su due assi perpendicolari tra loro e con l'asse focale, in cui ciascuno di detti specchi è provvisto di
- 25 due servocomandi digitali per controllare la suddetta orientazione e sia collegato ad una unità di controllo.
- Sempre secondo l'invenzione in detto concentratore solare ciascuno specchio è disposto su una struttura portante secondo una geometria a

lente di Fresnel e vantaggiosamente è controllato da due servocomandi digitali a zero backlash che controllano l'orientamento su due assi.

Per garantire il procedimento di controllo di ciascuno specchio, il dispositivo prevede che detti servocomandi siano collegati ad un'unità di controllo che legge da sensori ottici che circondano la cavità del ricevitore solare e che esegue periodicamente gli algoritmi di centraggio degli specchi.

La presente invenzione verrà descritta a titolo informativo e non limitativo con riferimento alle figure allegate in cui:

- la Fig. 1 mostra l'effetto degli errori di precisione ottica;
- la Fig. 2 mostra in modo schematico un elemento di specchio autocentrante attuato su due assi da altrettanti servocomandi.
- la Fig. 3 mostra in modo schematico i sensori di centraggio e l'otturatore che ne cambia la scala di sensibilità.

Per meglio comprendere l'essenza della presente invenzione occorre preventivamente definire il requisito di precisione ottica per soddisfare il quale è stata sviluppata la soluzione proposta.

Se si analizza, a titolo esemplificativo, un concentratore solare a due assi ottenuto con un numero adeguato di specchi quadrangolari da 1,44 metri di lato, a curvatura sferica e con lunghezza focale variabile attorno ai 12 metri, si può vedere che l'immagine solare nitida che questo elemento di specchio forma sul piano focale è un disco di diametro in metri pari a 12 volte la tangente dell'ampiezza angolare del sole, cioè di $12 * \tan(0.53311112) = 0.111657753$ metri, al cui contenuto energetico si sommano tutti i contributi degli altri elementi di specchio in cui è necessario suddividere il concentratore a causa della irrealizzabilità pratica di uno specchio concavo monolitico di grandi dimensioni.

Se si immagina di costruire un ricevitore con una cavità del diametro di 0,151657753 metri (4 centimetri più del diametro dell'immagine solare)

al centro della quale viene proiettata l'immagine solare, si ha che quest'ultima ha un margine di spostamento di 0,02 metri (due centimetri) prima di debordare dalla cavità disperdendo così la sua energia fuori dal ricevitore, sul bordo della corona ceramica di protezione del motore termico.

Ecco dunque definito il requisito di precisione del sistema ottico dal punto di vista del centraggio dell'immagine solare prodotta da ogni elemento di specchio.

Calcoliamo ora il massimo errore di posizionamento tollerabile per ogni elemento di specchio quadrato di 1,44 metri di lato. Gli elementi di specchio hanno curvatura sferica con raggi di curvatura opportunamente distribuiti attorno ai 24 metri (corrispondenti ad una lunghezza focale di 12 metri), concavità al centro di 0,010802431 metri (10,8 millimetri) rispetto alla circonferenza del cerchio inscritto al quadrato.

Con riferimento alla Fig. 1, nella quale alcune proporzioni sono state alterate per rendere il disegno più leggibile, il raggio incidente I , forma un angolo α con la normale N alla tangente Tr sul punto di incidenza i dello specchio S e si riflette in un raggio che forma un angolo α (legge di Cartesio) con la normale N ma dalla parte opposta, uguale quindi al primo angolo e complanare, proiettandosi sul punto r del piano focale.

Si supponga ora che un'imprecisione faccia ruotare il telaio dello specchio in senso orario attorno al punto c in modo che il suo telaio T si porti, al bordo estremo inferiore (nella figura), in una nuova posizione con uno spostamento di ampiezza E . Allo stesso modo, data la rigidità della struttura, la normale N ruoterà - portandosi in N' - di un angolo che per comodità di disegno è ancora α , spostando il suo punto di intercettazione del piano focale di una ampiezza En . Per effetto di quanto detto, il punto di intercettazione sul piano focale del raggio

riflesso da quello incidente si sposterà da r in r' con uno spostamento di ampiezza E_p .

Se imponiamo, da quanto detto sopra, che E_p sia pari a 0,02 m si ha:

$$E_p = 0,02 = 12 * \tan(2\alpha)$$

5 Da cui si può ricavare α . Quindi, dato che

$$E = 1,44 * \tan(\alpha),$$

in conclusione, l'errore massimo di calettamento di ogni specchio da 1,44 metri di lato è pari a 1,12 millimetri. Questa misura lascia intuire

10 quanto sia difficile, in una struttura di carpenteria metallica di oltre 10 metri di ampiezza e che deve restare ragionevolmente leggera, rispettare una simile precisione con l'ulteriore difficoltà di ottenerla, non in un pezzo unico, sul quale sarebbero possibili complessi allineamenti laser in sede di installazione, ma in un manufatto destinato ad essere
15 prodotto in grandi serie, smontato, trasportato e rimontato senza più l'ausilio degli strumenti di allineamento ottico.

In una sua forma preferita, il concentratore solare secondo la presente invenzione prevede invece di utilizzare una pluralità di elementi di specchio modulari, mobili su due assi perpendicolari fra loro e con l'asse focale, in grado quindi di orientare il proprio asse focale entro un angolo
20 solido sufficiente a correggere ogni possibile errore.

In questo modo, gli elementi di specchio possono essere disposti su una struttura portante secondo una geometria a lente di Fresnel usando cinematismi quali quelli indicati in Fig. 2 nella quale è illustrato un elemento di specchio opportunamente intelaiato (10), assistito dal
25 servocomando tangenziale (13) e da quello radiale (14) secondo uno schema cinematico dove la cerniera cilindrica 6 impernia un lato dello specchio mentre la cerniera cilindrica 7 impernia a 90° la cerniera cilindrica 6.

Il servocomando radiale (14) fa ruotare il telaio dello specchio (10) intorno alla cerniera cilindrica (6) secondo l'angolo (B) e sposta il fuoco in modo presudo-radiale. Il servocomando tangenziale (13) varia l'angolo (A) sull'asse della cerniera cilindrica (7) e provoca la rotazione dello specchio sull'asse (9) spostando il fuoco in modo pseudo-tangenziale. Si noti come le due cerniere cilindriche (6) e (7) si comportino ai fini del telaio dello specchio come una cerniera sferica giacente sulla loro intersezione, da cui passa l'asse virtuale (9).

Così facendo, sarà sufficiente corredare gli elementi di specchio (10) di opportuni servocomandi digitali (13) e (14) e utilizzare il relativo software di controllo per ottenere vantaggi sia sul fronte della precisione che su quello dei costi di produzione e installazione.

Sempre secondo l'invenzione la soluzione adottata per il controllo dei servocomandi (13) e (14) di allineamento ottico degli specchi (10) consiste (facendo riferimento allo schema Fig. 3) nel circondare la cavità del ricevitore R di sensori ottici O a doppia scala di sensibilità, con otturatore filtrante ceramico F, e nel ricorrere ad un algoritmo di allineamento che collima uno specchio alla volta.

L'architettura di sensori appena descritta può anche essere sostituita da una telecamera a raggi infrarossi puntata sullo schermo ceramico che contiene la cavità del ricevitore.

I requisiti necessari alla praticabilità del metodo di controllo secondo la presente invenzione sono:

1) I servocomandi digitali degli specchi (10) hanno una risoluzione pari a un terzo dell'errore tollerabile e sono a "zero-backlash" (la precisione nel raggiungere la posizione non risente della direzione da cui la si raggiunge, né dalla natura traente o resistente del lavoro compiuto dai servomotori).

- 2) Ogni manovra eseguita da uno specchio (10) non perturba la posizione degli altri.
- 3) Durante l'esecuzione di un ciclo di allineamento ottico degli specchi (10) del concentratore, costituito da tante esecuzioni successive della routine necessaria per allineare ogni specchio per quanti sono gli specchi, occorre che la struttura portante (13) del concentratore esegua l'inseguimento solare con velocità costante e che il movimento dei servomotori astronomici di azimut e di elevazione sia il più uniforme possibile in modo da avere il sole *fermo* rispetto alla struttura portante.
- 10 Non devono quindi avvenire discontinuità cinematiche di nessun genere. Questo significa che il metodo stesso di funzionamento dei servocomandi astronomici non deve essere basato su movimenti discontinui di correzione (a dente di sega) della direzione di puntamento, ma su movimenti a velocità costante. Il meccanismo di controllo a closed loop dovrà quindi basarsi su comparazioni della velocità invece che della posizione.
- 15 4) Durante l'esecuzione di un ciclo di allineamento degli specchi (10) l'insolazione diretta deve essere sufficiente e compresa entro un opportuno intervallo.
- 20 La prima generazione della matrice dei $2 \cdot N$ valori angolari dell'offset di errore degli orientamenti degli N specchi avviene subito dopo l'allineamento astronomico del basamento del concentratore e il completamento del montaggio. Ciò rende molto più veloci tutte le ulteriori scansioni di correzione, che non richiedono più la fase di ricerca del sole.
- 25

Di seguito si descrive l'architettura ed il funzionamento per eseguire l'allineamento degli specchi secondo una forma preferita della presente invenzione:

- 1) L'errore di decentramento dell'immagine solare sul ricevitore
5 deve essere minore di 0,02 m che corrisponde ad un errore massimo di calettamento sul bordo di uno specchio (10) pari a 1,12 mm.
- 2) La precisione dei servocomandi (13) e (14) che orientano gli specchi spostandone i bordi deve essere almeno tre volte superiore all'errore tollerabile sulla posizione dei bordi, cioè circa 0,4 mm.
- 10 3) L'unità di controllo deve essere in grado di mantenere su una memoria non volatile una rappresentazione numerica delle posizioni di tutti gli specchi quando sono a fuoco e quando sono fuori fuoco. Si intende qui per "fuori fuoco" una posizione di puntamento lontana dal ricevitore quanto basta per non illuminarlo e per non arrecare danno a
15 nessun componente.
- 4) L'unità di controllo memorizza la posizione di ogni specchio per ogni possibile stato dilatometrico della struttura tale da richiedere un punto di misurazione.
- 5) Il principio di funzionamento dell'algoritmo di centraggio del
20 puntamento consiste nel centrare uno specchio alla volta usando i sensori del ricevitore mentre tutti gli altri specchi sono fuori fuoco o a fuoco, purché cioè non perturbino i sensori, nel memorizzarne le coordinate di puntamento a fuoco e nel riutilizzarle insieme a quelle di tutti gli altri specchi al momento di metterli a fuoco tutti insieme.

Secondo il procedimento della presente invenzione, appena il concentratore è montato si procede alle attività di allineamento astronomico preliminare basate sull'uso del telecomando o della console di controllo che attivano le funzioni automatiche di centraggio astronomico controllate dalle informazioni sulla direzione del Nord, data,
5 ora, latitudine e longitudine fornite da un GPS esterno.

E' da notare come le strategie di allineamento cambiano fra il caso di struttura portante dei telai portaspecchi e ricevitore solidali fra loro e dotati movimenti di inseguimento solare altazimutale (caso A) e il caso
10 di piattaforma e ricevitore ancorati a terra e con specchi che si comportano da eliostati (caso B). Nel caso A il primo posizionamento astronomico serve a misurare l'offset di errore di installazione della piattaforma, nel caso B misurerà anche quello di montaggio degli specchi.

15 Una volta che il concentratore è centrato astronomicamente (solo nel caso A) e l'algoritmo di inseguimento solare è attivo si procederà al primo allineamento degli specchi:

a) La piattaforma di supporto per gli specchi è adesso orientata dall'unità di controllo astronomico, cioè ha la sua perpendicolare nella
20 direzione del sole, e la mantiene per effetto dell'inseguimento solare eseguito secondo le specifiche già espresse (caso A).

b) Tutti gli specchi sono orientati in posizioni fuori fuoco in modo da allontanare radialmente il fuoco dal ricevitore.

c) Si resetta il contatore di specchio: $j = 0$;

25 d) Lo specchio (j) si sposta per tentativi (a spirale o a scansione righe / colonne della discretizzazione del servocomando) fino a centrare

il ricevitore. Trovato il centraggio, le coordinate di puntamento (nel caso B quelle istantanee, cioè dotate di data, ora, minuto, secondo) vengono memorizzate, poi l'elemento viene defocalizzato in modo da allontanare radialmente il fuoco dal ricevitore.

5 e) $j = j+1$;

h) completati gli specchi? No, vai a d); Sì, vai a i);

i) Adesso tutti gli specchi sono orientati sul ricevitore e le loro posizioni sono state memorizzate.

Nel caso A la velocità di esecuzione del passo d non deve interferire
10 (avere armoniche comuni) con la velocità dei servocomandi di
inseguimento solare. L'esecuzione dell'algoritmo sarà lenta la prima
volta, cioè alla fine del primo assemblaggio, perché i coni di errore da
esplorare saranno larghi, ma sarà molto più veloce le volte successive,
quando restano da correggere solo gli errori di dilatazione e di
15 assestamento. Si possono prevedere due minuti a specchio la prima
volta e pochi secondi a specchio le successive.

Gli allineamenti successivi avvengono a calendario e il loro scopo è
scoprire e correggere dilatazioni, assestamenti strutturali, effetti di urti,
cedimenti, etc.

20 Secondo una forma di realizzazione preferita la periodicità degli
allineamenti successivi potrebbe essere mattina, mezzogiorno, e
pomeriggio di ogni inizio di settimana. Il sistema prototipale dovrebbe
essere in grado di eseguire delle analisi dei dati della matrice termica
per dare modo di ottimizzare l'algoritmo. L'algoritmo per gli allineamenti
25 successivi può essere identico a quello del primo allineamento, ma deve
tenere conto del fatto che la ricerca del fuoco inizierà dalle spire più
interne della ricerca, per durare meno, dato che è probabile che il

discostamento dal centro sia molto piccolo. Se, limitandosi alla sola zona centrale del cono di ricerca, il fuoco non venisse trovato, questo significherebbe che lo specchio è affetto da errore grave (possibile urto o cedimento strutturale). In questo caso il sistema valuterà la soglia di errore e, secondo la sua entità, procederà alla generazione di un allarme ed all'eventuale posizionamento di sicurezza per poi procedere al riposizionamento iniziale.

Riassumendo, gli elementi caratteristici della soluzione preferita di struttura e procedimento di controllo secondo la presente invenzione sono:

- Tutti gli elementi di specchio giacciono su una struttura di supporto comune (architettura Fresnel) di modesta rigidità, i cui moduli sono economici da costruire, trasportare e assemblare.
- Ogni elemento di specchio, retto dal suo telaio per mantenerne la concavità e proteggerlo da svergolamenti, è controllato da due servocomandi digitali a zero backlash che ne orientano il telaio portante su due assi. Un'unità di controllo legge i sensori ottici che circondano la cavità del ricevitore solare ed esegue periodicamente gli algoritmi di centraggio degli specchi.
- Una telecamera a raggi infrarossi puntata sulla cornice ceramica del ricevitore può eseguire la stessa lettura senza sensori con aumento della precisione e riduzione dei costi.
- Ai fini della correzione degli errori di costruzione dei moduli della struttura portante, degli errori geometrici prodotti durante il montaggio dei moduli fra loro e di quelli degli specchi sui moduli della struttura portante, subito dopo il completamento del montaggio della macchina a concentrazione solare nel suo sito di utilizzo, si esegue un apposito algoritmo di inizializzazione del centraggio degli specchi.

- Ai fini della correzione delle dilatazioni termiche giornaliere e stagionali, l'unità di controllo dei servocomandi eseguirà dei campionamenti della situazione dilatometrica ad intervalli regolari di tempo nell'arco di una giornata e nelle diverse stagioni. Le matrici raccolte diventano una banca dati utile per le correzioni orarie veloci eseguite in modalità "open loop".
- Ai fini della correzione di possibili imprecisioni causate da deformazioni elastoplastiche accidentali provocate da raffiche di vento o da altre cause, da adattamenti e da cedimenti strutturali, saranno compiute delle periodiche scansioni di verifica della stabilità della struttura.

RIVENDICAZIONI

- 1) Concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche comprendente una struttura di supporto o piattaforma astronomica con
5 funzione di inseguimento astronomico solidale ad un sistema di equipaggi riflettenti mobili, ciascuno composto da uno specchio intelaiato, caratterizzati dal fatto che detti specchi mobili sono dotati di due prime cerniere cilindriche ancorate a detta struttura di supporto, due seconde
10 cerniere cilindriche destinate a sostenere il lato rotante di ciascuno di detti elementi di specchio, due terze cerniere sferiche per la movimentazione dell'asta radiale di detto elemento di specchio, un'asta tangenziale servoassistita innestata su dette cerniere per il movimento tangenziale,
15 una seconda asta radiale servoassistita e innestata su dette seconde cerniere cilindriche, in modo tale che ciascun elemento di specchio risulti mobile su due assi perpendicolari tra loro e con l'asse focale, in cui ciascuno di detti specchi è provvisto di due servocomandi digitali per
20 controllare la suddetta orientazione ed è collegato ad una unità di controllo.
- 2) Concentratore solare secondo la rivendicazione 1, laddove detti elementi di specchio sono disposti su una struttura portante secondo una geometria a lente di Fresnel.
- 25 3) Concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche secondo la rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che ciascuno specchio è

controllato da due servocomandi digitali a zero backlash che controllano l'orientamento su due assi per correggere gli errori ottici.

- 5 4) Concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche secondo le rivendicazioni 2 e 3 caratterizzato dal fatto che detti servocomandi sono comandati da un'unità di controllo.
- 10 5) Concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto di disporre di sensori capaci di leggere la radiazione incidente sulla corona ceramica protettiva che circonda la cavità del ricevitore solare.
- 15 6) Concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detti sensori sono a doppia scala di sensibilità con otturatore filtrante o con telecamera infrarossa.
- 20 7) Concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detti attuatori hanno la funzione di correzione di errori astronomici di installazione, imprecisioni e difetti di fabbricazione, errori di assemblaggio, effetti di dilatazioni e deformazioni dovute alla gravità.
- 25 8) Concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di

disporre di una struttura porta specchi di forma asimmetrica.

- 5 9) Concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche secondo una delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre un puntatore ottico solare solidale alla struttura di supporto o piattaforma astronomica (caso A).
- 10 10) Procedimento di controllo di un concentratore solare di un impianto solare per applicazioni termodinamiche o termochimiche secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato da un algoritmo di controllo a closed loop con funzione di allineamento automatico degli specchi e con routine di inizializzazione del centraggio, di primo allineamento e di allineamento successivo.
- 15 11) Procedimento secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che il controllo a closed loop avviene sulla derivata prima o seconda degli angoli spazzati dal movimento di inseguimento astronomico .
- 20 12) Procedimento secondo la rivendicazione 9 o 10, caratterizzato dal fatto che detto algoritmo di allineamento è basato sulla elaborazione in sequenza delle misure di posizione di ogni singolo specchio.
- 25 13) Procedimento secondo una delle rivendicazioni da 9 a 11, caratterizzato dal fatto che detto algoritmo di allineamento memorizza gli offset di errore e compensa gli effetti della dilatazione termica.

- 14) Procedimento di controllo secondo una delle rivendicazioni da 9 a 12 in grado di utilizzare specchi indipendenti ciascuno formante immagine per ottenere una concentrazione non formante immagine in posizioni retro-focali o pre-focali.
- 15) Procedimento di controllo secondo una delle rivendicazioni da 9 a 13 caratterizzato da automazione del centraggio astronomico con neutralizzazione degli errori astronomici di installazione.
- 16) Procedimento di controllo secondo una delle rivendicazioni da 9 a 14 con correzione della velocità e dotato di capacità di inseguimento astronomico a velocità predittiva, senza salti di posizione.
- 17) Procedimento di controllo secondo una delle rivendicazioni da 9 a 15 che consente una installazione assistita da un sistema GPS.
- 18) Procedimento di controllo secondo una delle rivendicazioni da 9 a 16 dotato di capacità di "tracciamento ottico", di "tracciamento astronomico" e dell'uso simultaneo di entrambi con priorità al "tracciamento astronomico".
- 19) Procedimento di controllo secondo una delle rivendicazioni da 9 a 17 dotato di capacità di autocentraggio dopo un periodo di un giorno di inseguimento ottico.

CLAIMS

- 1) Solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications, including a support structure or astronomical platform for astronomical tracking which is integral with a system of reflecting, moving elements each formed of a framed mirror, characterized in that said moving mirrors are provided with two first cylindrical hinges anchored to said support structure, two second cylindrical hinges intended for supporting the rotating side of each of said mirror elements, two third spherical hinges moving the radial rod of said mirror element, a power-assisted tangent rod engaged with said second cylindrical hinges, so that each mirror element moves on two mutually perpendicular axis perpendicular to the major axis, in which each of said mirrors is provided with two digital servocontrols to control said orientation and is connected with a control unit.
- 2) Solar concentrator according to claim 1, in which said mirror elements are arranged on a flat support structure according to a Fresnel-lens geometry.
- 3) Solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications according to claim 1 characterized in that each mirror is controlled by two digital zero-backlash servocontrols controlling the orientation on two axis.
- 4) Solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications according to claims 2 and 3 characterized in said servocontrols are connected with a control unit.
- 5) Solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications according to claim 1 or 2,

characterized in that said optical sensors encompass the solar collector cavity.

- 5 6) Solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications according to claim 3, characterized in said sensors have a double scale of sensitivity with filtering shutter.
- 7) Solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications according to any of the above claims, characterized in that said actuators have a function for the correction of celestial set-up errors, manufacture imperfections and defects, assembly mistakes, effects of expansion and buckling due to gravity.
- 10 8) Solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications according to any of the above claims, characterized in said mirror-supporting plate is asymmetric.
- 15 9) Solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications according to any of the above claims, further including an optical finder integral with the support structure or astronomical platform.
- 20 10) Method to control a solar concentrator of a solar installation for thermodynamic or thermochemical applications according to any of the above claims, characterized by a closed-loop control algorithm performing the automatic alignment of mirrors and executing centering startup, first alignment and subsequent alignment routines.
- 25 11) Method according to claim 9, characterized in that said closed-loop control is carried out on the first or second derivative of the main parameters.

- 12) Method according to claim 9 or 10, characterized in that said alignment algorithm is based on the sequential processing of the position measures of each single mirror.
- 5 13) Method according to any of claims 9 to 11, characterized in that said alignment algorithm records offset errors and balances thermal dilation effects.
- 14) Control method according to any of claims 9 to 12 fitted to use independent imaging-concentration mirrors to obtain a non-imaging concentration in prefocal and retrofocal positions
- 10 15) Control method according to any of claims 9 to 13 characterized by the automation of celestial centering with offset of celestial setup errors.
- 16) Control method according to any of claims 9 to 14 with correction of speed and provided with celestial speed-estimation tracking, without position jumps.
- 15 17) Control method according to any of claims 9 to 15 allowing a GPS-assisted setup.
- 18) Control method according to any of claims 9 to 16 outfitted with "optical tracking", "celestial tracking" and the simultaneous use of both of them with priority to "celestial tracking".
- 20 19) Control method according to any of claims 9 to 17 providing for self-centering after a one-day optical tracking.

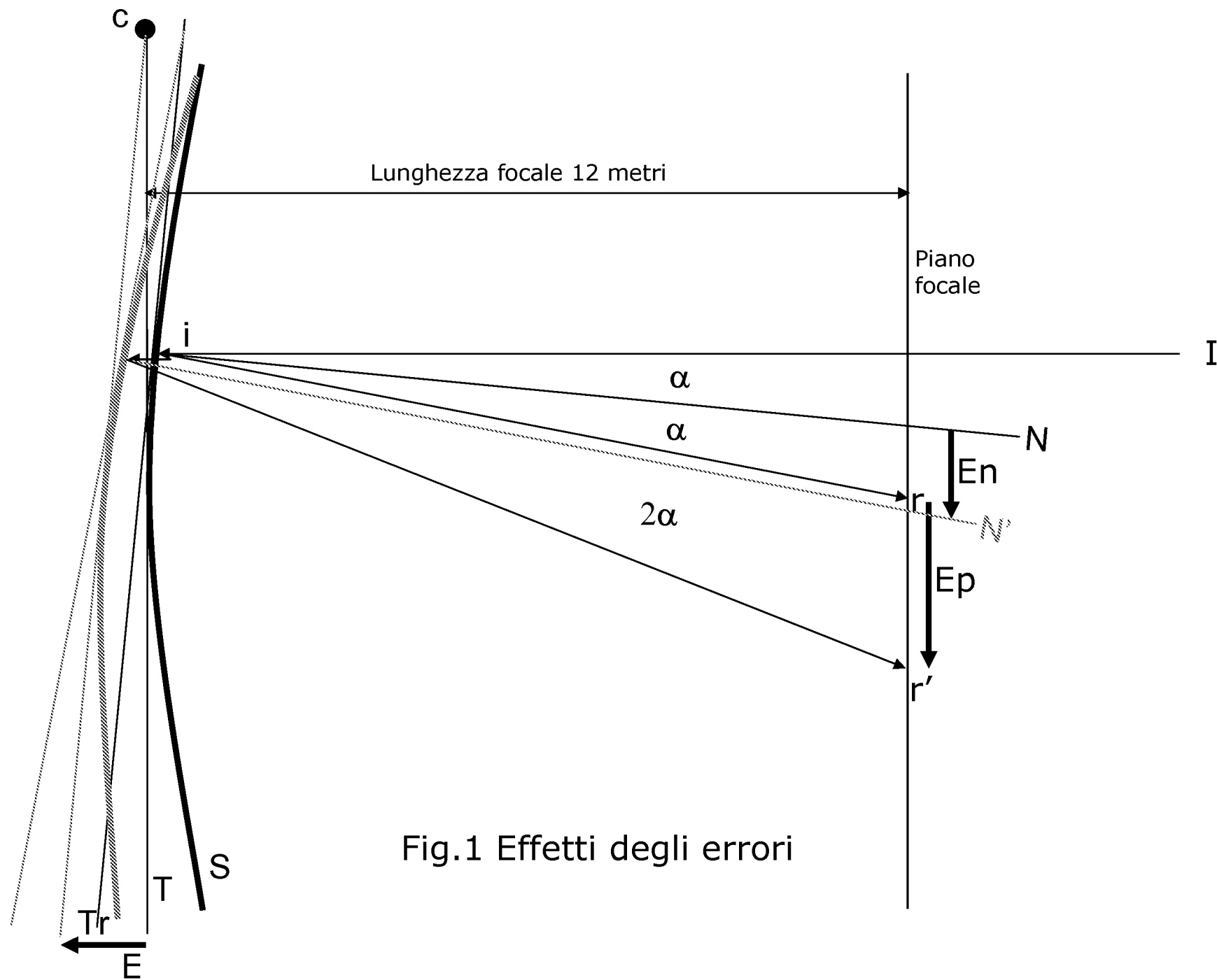


Fig.1 Effetti degli errori

Fig.2 Elemento di
specchio autocentrante

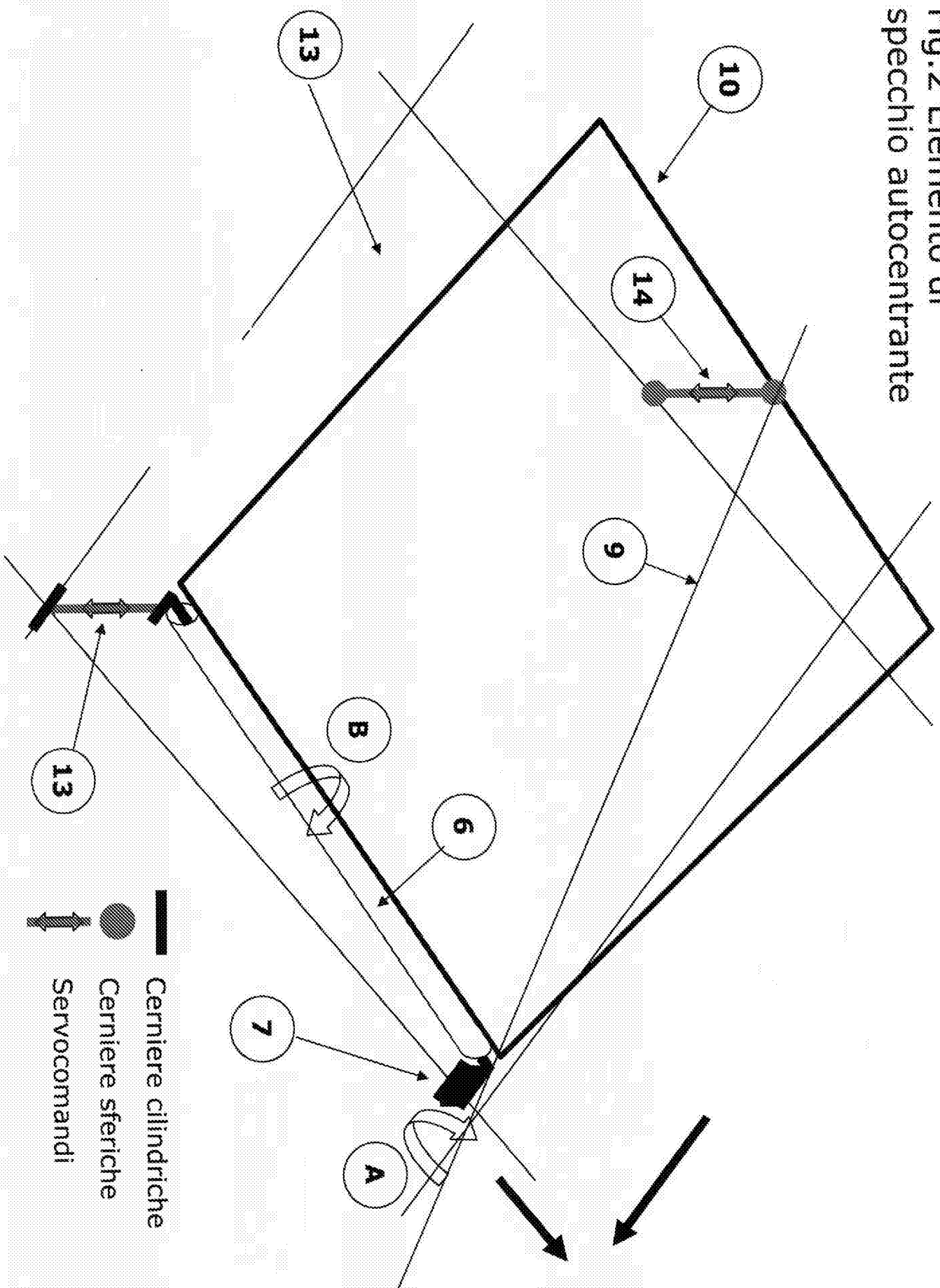


Fig.3 Sensori e otturatore

