



**MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO**  
**DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE**  
**UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI**

<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>102010901837774</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>11/05/2010</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>11/11/2011</b>

Classifiche IPC

Titolo

APPARECCHIO PER L'ISPEZIONE DI PALE ROTORICHE DI TURBINA A GAS E TURBINA A GAS PROVISTA DI TALE APPARECCHIO

## DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"APPARECCHIO PER L'ISPEZIONE DI PALE ROTORICHE DI TURBINA A GAS E TURBINA A GAS PROVISTA DI TALE APPARECCHIO"

di ANSALDO ENERGIA S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIA NICOLA LORENZI, 8

GENOVA (GE)

Inventori: GARDELLA Gabriele, REBIZZO Adelmo, DI PASQUALE

Luigi

\*\*\* \*\*\*\*\* \*\*\*

La presente invenzione è relativa a un apparecchio per l'ispezione di pale rotoriche di turbina a gas e a una turbina a gas provvista di tale apparecchio.

Come è noto, i rotori delle turbine a gas sono soggetti a condizioni di funzionamento estremamente severe, sia sotto il profilo delle sollecitazioni meccaniche, sia per le elevate temperature in gioco. Particolarmente critica è di regola la situazione del primo stadio di palette rotoriche, che sono direttamente investite dal flusso di gas uscente dalla camera di combustione.

Per assicurare la sopravvivenza in ambiente avverso, le pale rotoriche, in modo particolare del primo stadio, sono provviste di un sistema di raffreddamento che permette

di far circolare all'interno della struttura palare aria fresca spillata dal compressore prima dell'ingresso in camera di combustione. Inoltre, le pale sono rivestite da uno strato ceramico che protegge le parti metalliche, migliorando l'isolamento termico.

Naturalmente, anche gli strati isolanti superficiali sono soggetti a usura e c'è inoltre la possibilità di difetti costruttivi che riducono l'efficacia della protezione.

È quindi evidente la necessità di disporre di dati affidabili relativi all'integrità dell'isolamento durante la vita delle pale: il decadimento precoce dell'efficienza dell'isolamento e/o del sistema di raffreddamento può portare non solo a un corrispondente decadimento delle prestazioni dell'impianto, ma anche a rotture con conseguenze potenzialmente catastrofiche.

Attualmente, sono disponibili sistemi di ispezione ottica che permettono di stimare lo stato di conservazione delle pale e del loro rivestimento dall'aspetto visibile (evidenza di erosione, microcrepe e così via). Alcuni sistemi permettono l'ispezione anche durante il funzionamento della macchina.

I sistemi noti presentano tuttavia dei limiti sia perché le informazioni rilevate permettono una stima solo indiretta e grossolana dell'efficienza delle protezioni

delle pale, sia perché l'ispezione ottica richiede di illuminare le porzioni di rotore che vengono esaminate. È quindi necessario portare una sorgente luminosa o almeno una guida di luce in prossimità del rotore, in aggiunta a una sonda ottica per il prelievo delle immagini.

Scopo della presente invenzione è quindi fornire un apparecchio per l'ispezione di pale rotoriche di turbina a gas e una turbina a gas provvista di tale apparecchio, che permettano di superare le limitazioni descritte.

Secondo la presente invenzione, vengono realizzati un apparecchio per l'ispezione di pale rotoriche di turbina a gas e una turbina a gas come rispettivamente definiti nelle rivendicazioni 1 e 14.

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano un esempio di attuazione non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista laterale di un apparecchio per l'ispezione di pale rotoriche di turbina a gas secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 2 mostra un sistema di lenti incorporato nell'apparecchio di figura 1;

- la figura 3 mostra un sistema di lenti alternativo al sistema di lenti di figura 2;

- la figura 4 è una sezione longitudinale ingrandita di un primo particolare dell'apparecchio di figura 1;

**Andrea BERNOTTI**  
*(Iscrizione Albo nr. 1090/B)*

- la figura 5 è una sezione trasversale del particolare di figura 4, presa lungo il piano di traccia V-V di figura 4;

- la figura 6 è una sezione longitudinale ingrandita di un secondo particolare dell'apparecchio di figura 1;

- la figura 7 è una vista laterale del primo particolare di figura 4, con parti rimosse;

- la figura 8 è uno schema a blocchi semplificato dell'apparecchio di figura 1;

- la figura 9 è una sezione longitudinale di una turbina a gas incorporante l'apparecchio di figura 1; e

- la figura 10 è una sezione trasversale della turbina a gas di figura 9, presa lungo il piano di traccia X-X di figura 9.

La figura 1 mostra un apparecchio per l'ispezione di pale rotoriche di turbina a gas, che è indicato nel suo complesso con il numero di riferimento 1. L'apparecchio 1 comprende una sonda ottica 2 e un dispositivo di acquisizione immagini 3 accoppiato alla sonda ottica per rilevare immagini.

La sonda ottica 2 è, ad esempio, una sonda boroscopica o endoscopica rigida e ha un obiettivo 5 a un'estremità. Un oculare 6, provvisto di una ghiera di messa a fuoco 7, è accoppiato a un'estremità della sonda ottica 2 opposta all'obiettivo 5. Un connettore 8 permette l'accoppiamento

**Andrea BERNOTTI**  
*(Iscrizione Albo nr. 1090/B)*

ottico della sonda ottica 2 con l'oculare 6 del dispositivo di acquisizione immagini 3.

La sonda ottica è dotata di un sistema di lenti 9 cilindriche (figura 2) o acromatiche (figura 3), preferibilmente in vetro ottico.

La sonda ottica 2 è inoltre alloggiata all'interno di un involucro tubolare 10, che definisce, attorno alla sonda ottica 2 stessa, un circuito di raffreddamento 11 (mostrato solo schematicamente in figura 1) in cui circola un fluido di raffreddamento. In una forma di realizzazione, il fluido di raffreddamento è acqua.

Come mostrato nelle figure 4-6, l'involucro tubolare 10 si estende lungo un asse A (figure 4 e 6) e comprende una parete esterna 12, una parete intermedia 13 e una parete interna 14, tutte di forma cilindrica e coassiali. La sonda ottica 2 è inserita coassiale dentro la parete interna 14, con l'obiettivo di presa 5 prossimo a un'estremità 10a distale (o di presa immagine) dell'involucro tubolare 10, che è chiusa da una lastra protettiva 15. La lastra protettiva 15 è realizzata in un materiale trasparente alla radiazione elettromagnetica nell'infrarosso, in particolare nella banda di lunghezze d'onda compresa fra 0,9  $\mu\text{m}$  e 1,7  $\mu\text{m}$ . Il materiale in cui è realizzata la lastra protettiva 15 è, ad esempio, zaffiro o quarzo. In una forma di realizzazione, la lastra protettiva

15 è piana.

Con riferimento anche alla figura 7, il circuito di raffreddamento 11 ha un primo ramo 11a, definito fra la parete esterna 12 e la parete intermedia 13, e un secondo ramo 11b, definito fra la parete interna 14 e la parete intermedia 13 e comunicante con il primo ramo 11a. Come mostrato in dettaglio in figura 4, la parete esterna 12 e la parete interna 14 sono raccordate all'estremità 10a distale dell'involucro protettivo 10 mediante un elemento anulare di chiusura 16. La parete intermedia 13 termina a distanza dall'elemento anulare di chiusura 16 e definisce un passaggio 17 che permette la comunicazione fluidica fra il primo ramo 11a e il secondo ramo 11b del circuito di raffreddamento 11.

L'involucro protettivo 10 comprende, inoltre, primi setti distanziali 19 (figura 7), disposti fra la parete esterna 12 e la parete intermedia 13, e secondi setti distanziali 20, disposti fra la parete interna 14 e la parete intermedia 13. I primi setti distanziali 19 e i secondi setti distanziali 20 sono avvolti attorno all'asse lungo rispettivi percorsi elicoidali e definiscono canali elicoidali rispettivamente nel primo ramo 11a e nel secondo ramo 11b del circuito di raffreddamento 11.

Con riferimento alle figure 1 e 6, una prima bocchetta 22 e una seconda bocchetta 23 comunicano rispettivamente

**Andrea BERNOTTI**  
*(Iscrizione Albo nr. 1090/B)*

con il primo ramo 11a e con il secondo ramo 11b del circuito di raffreddamento 11 e permettono l'accoppiamento fluidico con l'esterno. Nella forma di realizzazione descritta, in particolare, il primo ramo 11a è connesso a una linea di alimentazione 24 attraverso la prima bocchetta 22 per ricevere una portata d'acqua di raffreddamento, mentre il secondo ramo 11b scarica verso l'esterno attraverso la seconda bocchetta 23. La circolazione del fluido di raffreddamento avviene con moto elicoidale lungo l'asse A dalla prima bocchetta 22 verso l'estremità 10a distale dell'involucro protettivo 10 e dall'estremità 10a distale verso la seconda bocchetta 23; inoltre, il fluido di raffreddamento attraversa il passaggio all'estremità 10a distale dall'esterno verso l'interno.

Con riferimento alla figura 8, Il dispositivo di acquisizione immagini 3 comprende un'unità di controllo 25, un sensore di immagini 27 e un dispositivo di sincronizzazione 28.

Il sensore di immagini 27 è otticamente accoppiato alla sonda ottica 2 ed è controllato dall'unità di controllo 25 per acquisire immagini, attraverso la sonda ottica 2, in risposta a segnali di sincronizzazione  $S_{\text{SYNC}}$  dal. Il sensore di immagini 27 e l'unità di controllo 25 sono configurati in modo che il dispositivo di acquisizione immagini 3 abbia una frequenza di acquisizione non

inferiore a 50 immagini per secondo, ad esempio 90 immagini per secondo. Inoltre il dispositivo di acquisizione immagini 3 ha un tempo di apertura dell'otturatore (shutter time) inferiore a 2  $\mu\text{s}$ , in modo da ottenere il fermo immagine.

Il sensore di immagini 27 è sensibile alla radiazione elettromagnetica nel vicino infrarosso, in particolare con lunghezza d'onda in una banda compresa fra 0,9  $\mu\text{m}$  e 1,7  $\mu\text{m}$ . In una forma di realizzazione, il sensore di immagini 27 è un sensore InGaAs (Indio-Gallio-Arsenio).

Il dispositivo di sincronizzazione 28 comprende un rivelatore di prossimità 30, un bersaglio 31 e un elemento di ritardo 32 programmabile.

Il bersaglio 31 è applicabile a un organo rotante, che, nella fattispecie, è un rotore 55 di una turbina a gas (in figura 8, il rotore 55 è indicato solo schematicamente, per semplicità). Il rivelatore di prossimità 30, che è fisso rispetto al sensore di immagini 27, ha un campo di interazione CI ed è configurato per inviare segnali di sincronizzazione  $S_{\text{SYNC}}$  all'unità di controllo 25 in risposta al passaggio del bersaglio 31 nel campo di interazione CI. I segnali di sincronizzazione  $S_{\text{SYNC}}$  possono avere ad esempio forma di impulsi o di fronti di commutazione fra valori logici distinti. L'unità di controllo 25 pilota il sensore di immagini 27 per acquisire

**Andrea BERNOTTI**  
(Iscrizione Albo nr. 1090/B)

un'immagine quando riceve i segnali di sincronizzazione  $S_{SYNC}$ . In pratica, quindi, il passaggio del bersaglio 31 nel campo di interazione CI del rivelatore di prossimità 30 definisce un evento di sincronizzazione, in risposta al quale il dispositivo di sincronizzazione causa l'acquisizione di un'immagine. Di conseguenza, le immagini vengono acquisite alla frequenza di rotazione del rotore 55, con fase costante rispetto al passaggio del bersaglio 31 nel campo di interazione CI del rivelatore di prossimità 30.

L'elemento di ritardo 32 programmabile permette di traslare nel tempo (entro un periodo) la trasmissione dei segnali di sincronizzazione  $S_{SYNC}$  rispetto all'evento di sincronizzazione.

Con riferimento alle figure 9 e 10, una turbina a gas, indicata nel suo complesso con il numero 50, comprende un rotore 55, che è alloggiato in una cassa 57 e si sviluppa lungo un asse M. La figura 9 mostra inoltre una porzione di una camera di combustione 58 accoppiata alla turbina 50.

Il rotore 55 è provvisto di una pluralità di pale rotoriche 60 organizzate in schiere anulari, che sono disposte in successione lungo l'asse M del rotore 55 fra una schiera di ingresso e una schiera di uscita, rispettivamente disposte all'ingresso e all'uscita della turbina a gas 50. Più in dettaglio, ogni schiera comprende

**Andrea BERNOTTI**  
*(Iscrizione Albo nr. 1090/B)*

una pluralità di pale rotoriche 60 fra loro identiche e disposte a corona attorno all'asse M, angolarmente spaziate in modo uniforme. La schiera più vicina alla camera di combustione 58 sarà indicata qui e nel seguito come schiera di ingresso. Le schiere di pale 60 sono circondate da rispettivi anelli di guida 62

Nella forma di realizzazione illustrata, l'apparecchio 1 è portato dalla cassa 57 in modo che un campo di visuale CV (figura 9) della sonda ottica 2 comprenda le pale 60 di una delle schiere, in particolare della schiera di ingresso. Più in dettaglio, la sonda ottica 2 è orientata in modo che il campo di visuale CV comprenda un bordo di attacco delle pale 60 della schiera di ingresso. Ad esempio, l'asse A della sonda ottica 2 forma un angolo  $\alpha$  compreso fra  $60^\circ$  e  $88^\circ$  rispetto alla direzione dell'asse M del rotore 55.

L'apparecchio 1 è collegato alla cassa 57 e all'anello di guida 62 della schiera di ingresso mediante rispettivamente una prima bussola guida 65 e una seconda bussola guida 66.

La prima bussola guida 65 è fissata alla cassa 57 mediante una flangia 67 e presenta una superficie di riscontro 68 su cui insiste una porzione prossimale dell'apparecchio 1.

La seconda bussola guida 66 è inserita passante in un

foro praticato nell'anello di guida 62 della schiera di ingresso ed è allineata alla prima bussola guida 65.

Quando la sonda ottica 2 e l'involucro tubolare 10 sono inseriti attraverso la prima bussola guida 65 e la seconda bussola guida 66, l'obiettivo (non visibile in figura 9) è affacciato alla schiera di ingresso e inquadra le pale 60 che si succedono nel campo di visione CV per effetto della rotazione del rotore 55.

Il dispositivo di acquisizione immagini 3 è protetto da un involucro 70.

La disposizione della sonda ottica 2 e il dispositivo di acquisizione immagini 3, che è sensibile nella banda del vicino infrarosso, permettono di rilevare immagini termiche selettivamente di una delle pale 60 inquadrate nel campo di visione della sonda ottica 2. La pala di cui vengono rilevate le immagini termiche può essere selezionata agendo sulla linea di ritardo 32. La radiazione raccolta attraverso la sonda ottica 2, infatti, è quasi totalmente dovuta all'emissione da parte delle pale 60, data la sostanziale assenza di illuminazione esterna e, di conseguenza, di radiazione riflessa. D'altra parte, l'intensità di emissione in ogni punto di un corpo è strettamente legata alla temperatura ed è particolarmente elevata nella banda del vicino infrarosso alle temperature abituali all'interno di una turbina a gas in funzione.

L'apparecchio 1 permette quindi di esaminare in modo accurato l'effettiva condizione di temperatura delle superfici palari più esposte a condizioni critiche durante il funzionamento della turbina a gas 50. Le mappe termiche raccolte sono indicative dello stato di efficienza o di degrado delle protezioni delle pale 60 e possono essere utilizzate per valutare le condizioni sia degli strati ceramici isolanti (crepe, erosione), sia dei condotti di raffreddamento interni alle pale 6 (ostruzioni).

In ogni caso, se le distribuzioni di temperatura rilevate non corrispondono a distribuzioni di temperatura attese o ammissibili, le informazioni raccolte permettono di programmare interventi di manutenzione tempestivi, prima che il degrado provochi rotture ed eventi catastrofici.

In uso, la sonda ottica 2 è efficacemente protetta dalle alte temperature mediante il circuito di raffreddamento 11. La temperatura media all'interno dell'involucro tubolare 10 può essere mantenuta al di sotto degli 80° C anche in presenza di temperature esterne attorno a 800° C, come all'ingresso della turbina a gas 50. L'apparecchio 1 può quindi essere utilizzato per ispezionare anche le pale 60 della schiera di ingresso, che, notoriamente, soffrono le condizioni di lavoro più severe. Inoltre, la sonda ottica 2 può vantaggiosamente sfruttare sistemi di lenti 9 in normale vetro ottico (che è

trasparente alla radiazione infrarossa) senza bisogno di ricorrere a costosi materiali speciali resistenti ad alte temperature.

Come accennato in precedenza, il ritardo introdotto dall'elemento di ritardo 32 può essere modificato in modo che l'acquisizione delle immagini sia effettuata con tempi diversi rispetto al segnale di sincronizzazione  $S_{SYNC}$  (e quindi a differenti posizioni angolari del rotore 55). In questo modo, è possibile selezionare le singole pale 60 di una stessa schiera per l'ispezione.

Risulta infine evidente che all'apparecchio e al metodo descritti possono essere apportate modifiche e varianti, senza uscire dall'ambito della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

## RIVENDICAZIONI

1. Apparecchio per l'ispezione di pale rotoriche di turbina a gas comprendente:

una sonda ottica (2);

un involucro tubolare (10), alloggiante la sonda ottica (2) e definente, attorno alla sonda ottica (2), un circuito di raffreddamento (11) per un fluido di raffreddamento della sonda ottica (2); e

un dispositivo di acquisizione immagini (3), accoppiato alla sonda ottica (2) per rilevare immagini attraverso la sonda ottica (2);

in cui il dispositivo di acquisizione immagini (3) comprende un sensore di immagini (27) a infrarossi.

2. Apparecchio secondo la rivendicazione 1, in cui il sensore di immagini (27) è sensibile a radiazione elettromagnetica avente lunghezza d'onda in una banda compresa fra 0,9  $\mu\text{m}$  e 1,7  $\mu\text{m}$ .

3. Apparecchio secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui il sensore di immagini (27) è un sensore InGaAs.

4. Apparecchio secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il dispositivo di acquisizione immagini (3) è operabile per acquisire immagini con una frequenza non inferiore a 50 immagini per secondo.

5. Apparecchio secondo una qualsiasi delle

**Andrea BERNOTTI**  
*(Iscrizione Albo nr. 1090/B)*

rivendicazioni precedenti, in cui il dispositivo di acquisizione immagini (3) è operabile per acquisire immagini con tempo di apertura otturatore non superiore a 2  $\mu$ s.

6. Apparecchio secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il dispositivo di acquisizione immagini (3) è dotato di mezzi di sincronizzazione (28), configurati per causare l'acquisizione di un'immagine in risposta a un evento di sincronizzazione.

7. Apparecchio secondo la rivendicazione 6, in cui i mezzi di sincronizzazione (28) comprendono un bersaglio (31) applicabile a un organo rotante (55) e un rivelatore di prossimità (30) fisso rispetto al dispositivo di acquisizione immagini (3) e configurato per fornire un segnale di sincronizzazione ( $S_{\text{SYNC}}$ ) al dispositivo di acquisizione immagini (3) in risposta al passaggio del bersaglio (31) in un campo di interazione (CI) del rivelatore di prossimità (30) e in cui il dispositivo di acquisizione immagini (3) è configurato per acquisire un'immagine in risposta al segnale di sincronizzazione ( $S_{\text{SYNC}}$ ).

8. Apparecchio secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la sonda ottica (2) è inserita coassiale nell'involucro tubolare (10) e ha un

obiettivo di presa (5) disposto a un'estremità (10a) dell'involucro tubolare (10a) e in cui l'estremità (10a) dell'involucro tubolare (10) è chiusa da una lastra protettiva (15) in un materiale trasparente alla radiazione elettromagnetica in una banda nell'infrarosso.

9. Apparecchio secondo la rivendicazione 8, in cui la lastra protettiva (15) è realizzata in zaffiro o in quarzo.

10. Apparecchio secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui:

l'involucro tubolare (10) comprende una parete esterna (12), una parete intermedia (13) e una parete interna (14) estendentisi fra loro coassiali lungo un asse (A); e

il circuito di raffreddamento (11) ha un primo ramo (11a), definito fra la parete esterna (12) e la parete intermedia (13), e un secondo ramo (11b), definito fra la parete interna (14) e la parete intermedia (13) e comunicante con il primo ramo (11a).

11. Apparecchio secondo la rivendicazione 10, comprendente primi setti distanziali (19), disposti fra la parete esterna (12) e la parete intermedia (13) e avvolti attorno all'asse (A) lungo rispettivi primi percorsi elicoidali, e secondi setti distanziali (20), disposti fra la parete interna (14) e la parete intermedia (13) e avvolti attorno all'asse (A) lungo rispettivi secondi percorsi elicoidali.

12. Apparecchio secondo la rivendicazione 10 o 11, in cui il fluido di raffreddamento è acqua.

13. Apparecchio secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la sonda ottica (2) comprende un sistema di lenti (9), preferibilmente in vetro ottico.

14. Turbina a gas, comprendente:

un rotore (55), provvisto una pluralità di pale rotoriche (60) organizzate in schiere anulari, che sono disposte in successione lungo un asse rotorico (M) fra una schiera di ingresso, all'ingresso della turbina, e una schiera di uscita, allo scarico della turbina; e

un apparecchio (1) per l'ispezione di pale rotoriche (60) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la sonda ottica (2) è disposta in modo che un campo di visuale (CV) del dispositivo di acquisizione immagini (3) comprenda le pale di almeno una delle schiere.

15. Turbina a gas secondo la rivendicazione 14, in cui la sonda ottica (2) è disposta in modo che il campo di visuale (CV) del dispositivo di acquisizione immagini (3) comprenda bordi di attacco delle pale della schiera di ingresso.

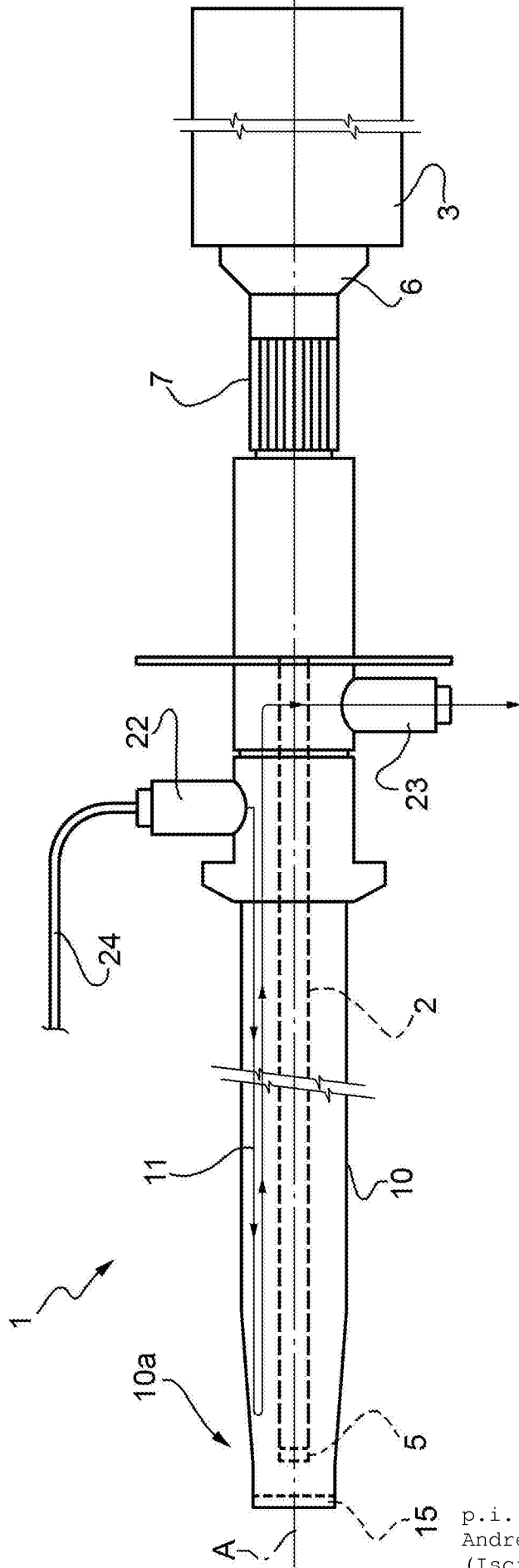
16. Turbina a gas secondo la rivendicazione 14 o 15 dipendente dalla rivendicazione 6, in cui il bersaglio (31) è applicato al rotore (55).

17. Turbina a gas secondo la rivendicazione 16, in cui i mezzi di sincronizzazione (28) comprendono un elemento di ritardo (32), configurato per applicare un ritardo programmabile al segnale di sincronizzazione ( $S_{SYNC}$ ) rispetto all'evento di sincronizzazione.

p.i.: ANSALDO ENERGIA S.P.A.

**Andrea BERNOTTI**

FIG. 1



p.i.: ANSALDO ENERGIA S.P.A.  
Andrea BERNOTTI  
(Iscrizione Albo nr. 1090/B)

FIG. 2

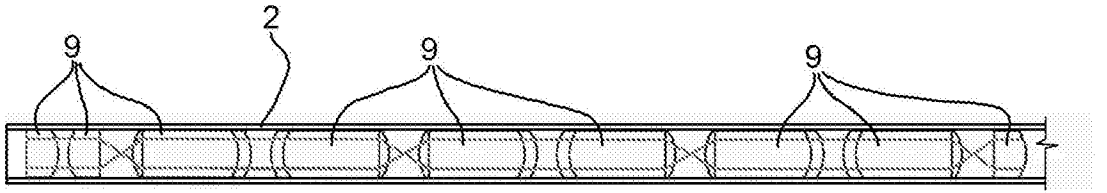


FIG. 3

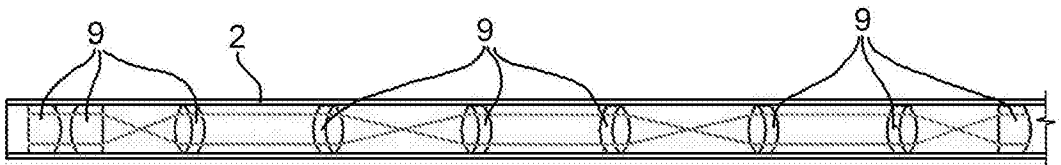


FIG. 8

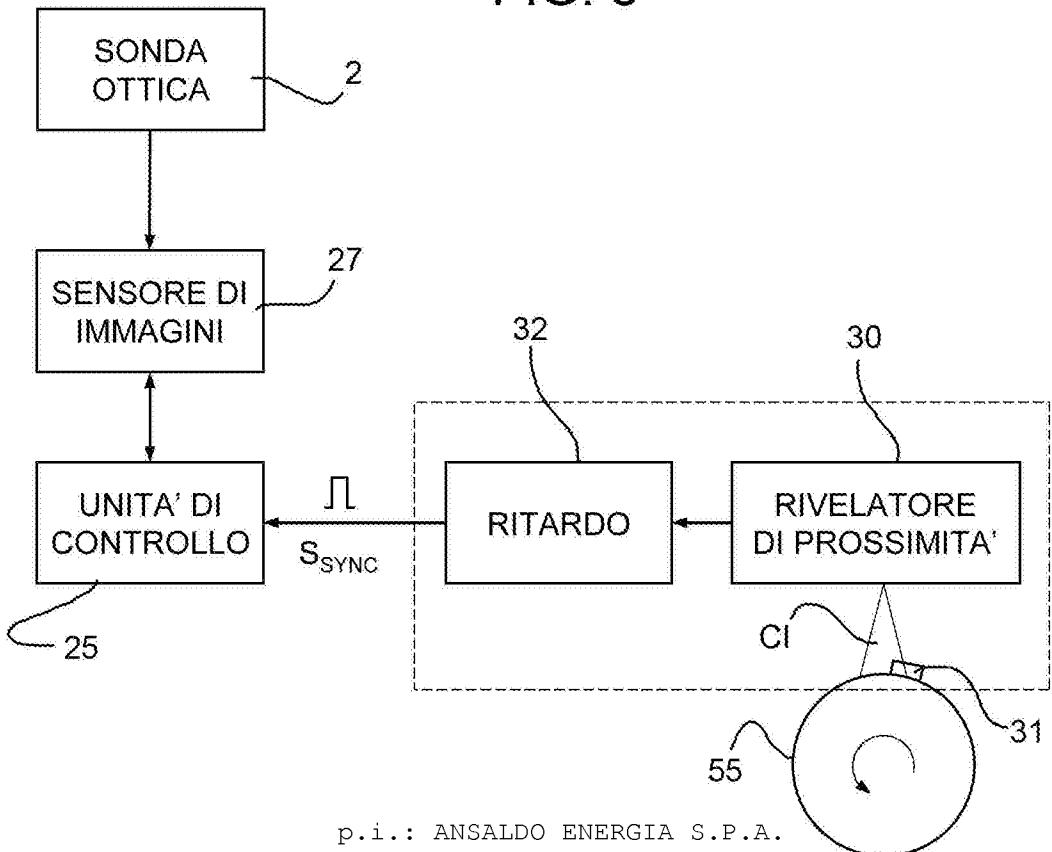


FIG. 4

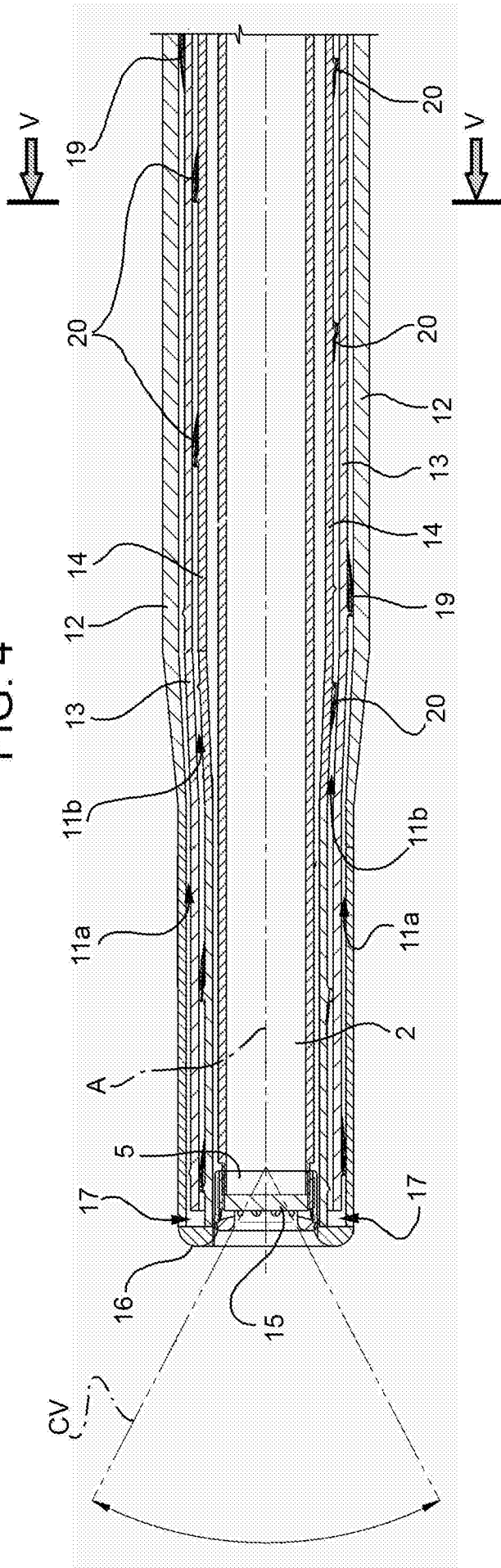


FIG. 7

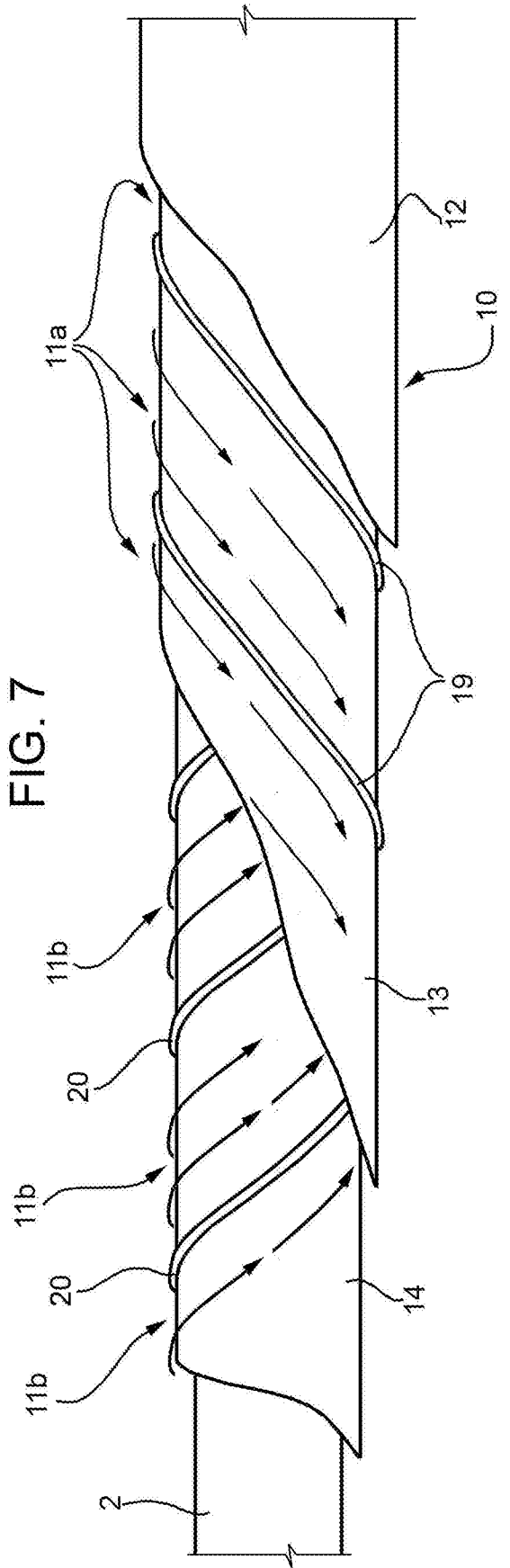


FIG. 5

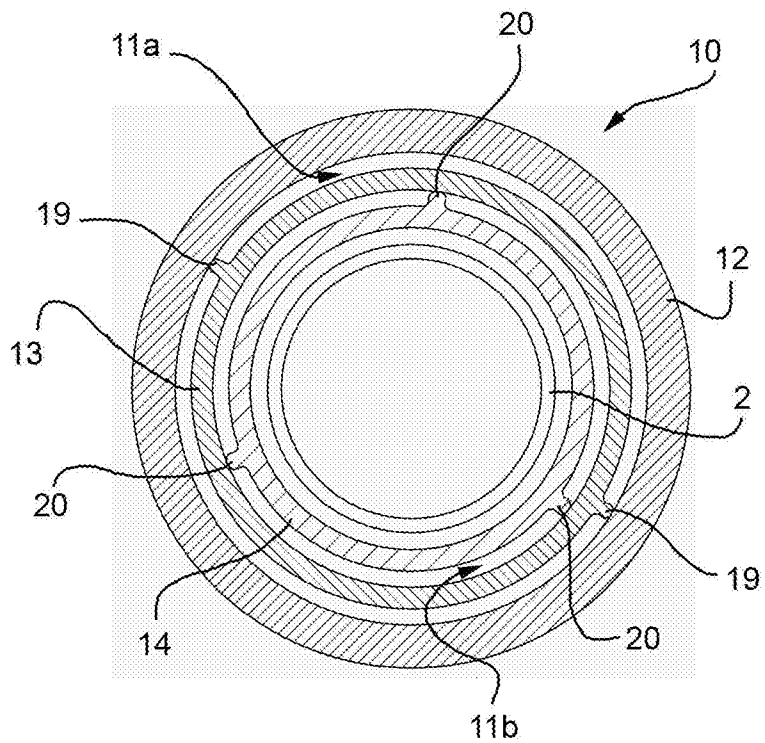


FIG. 6

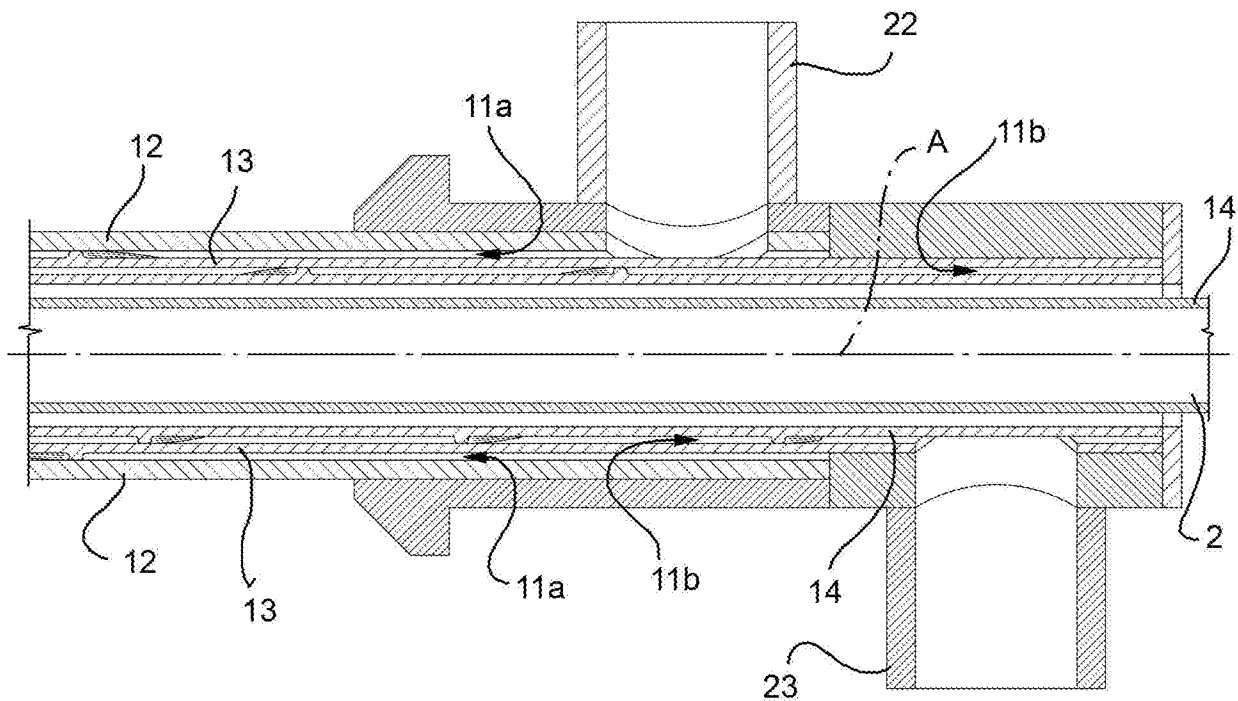
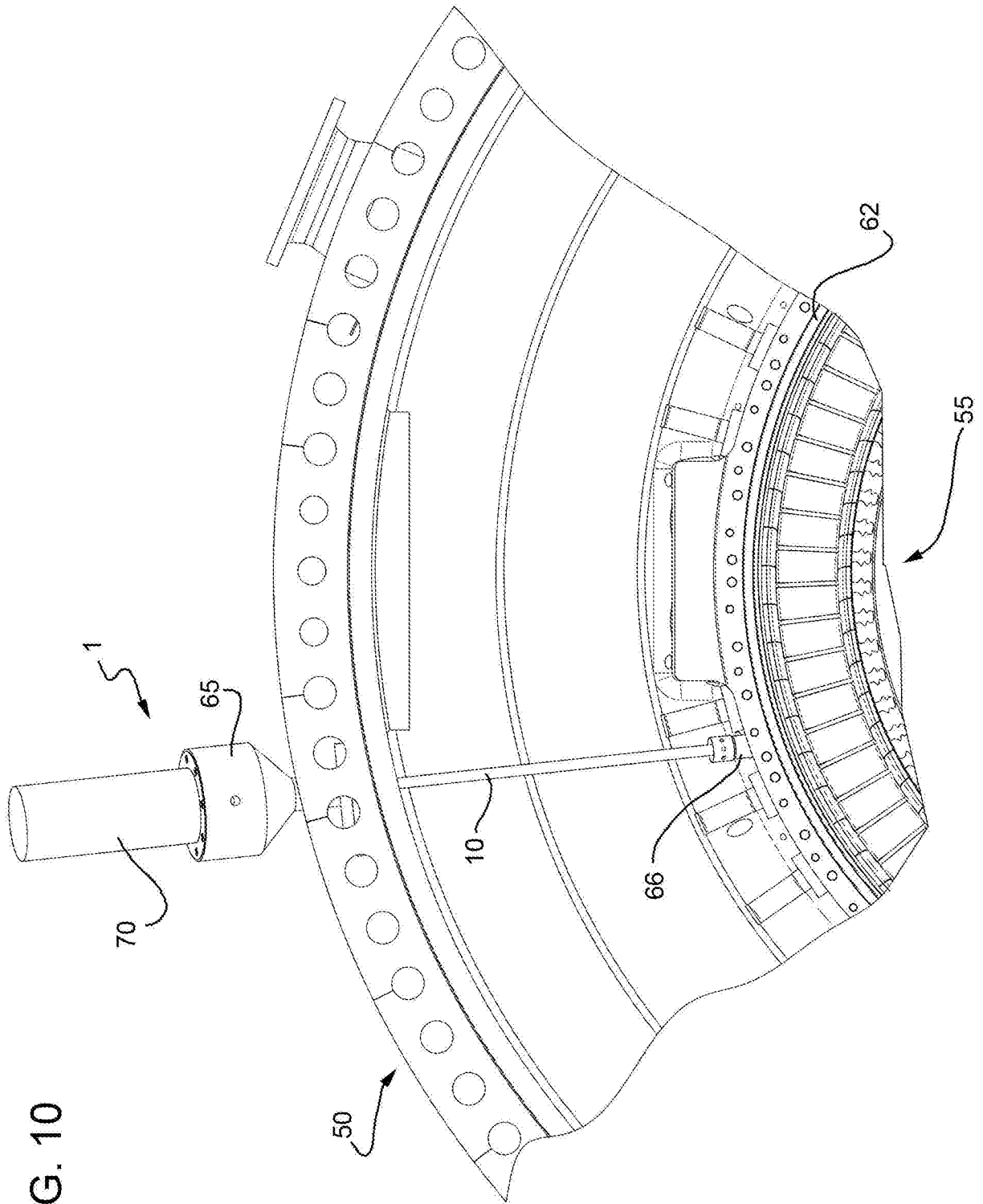




FIG. 10



p.i.: ANSALDO ENERGIA S.P.A.  
Andrea BERNOTTI  
(Iscrizione Albo nr. 1090/B)