



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

UIBM

DOMANDA NUMERO	101997900608982
Data Deposito	04/07/1997
Data Pubblicazione	04/01/1999

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	64	C		

Titolo

METODO DI SORVEGLIANZA DI UN GRUPPO DI TRASMISSIONE IN UN VEICOLO DOTATO DI SENSORI ACCELEROMETRICI, IN PARTICOLARE IN UN ELICOTTERO.

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale

di FINMECCANICA S.P.A.

di nazionalità italiana,

con sede a 00195 ROMA, PIAZZA MONTE GRAPPA, 4

Inventori: MAINO Bruno, BELLAZZI Alberto

*** **

La presente invenzione è relativa ad un metodo di sorveglianza di un gruppo di trasmissione in un veicolo dotato di sensori accelerometrici, in particolare in un elicottero.

Come è noto, negli elicotteri è essenziale monitorare continuamente gli organi di trasmissione del moto per evidenziarne tempestivamente anomalie o condizioni di guasto incipiente ed evitarne la rottura durante il volo.

A tale scopo, la trasmissione è dotata di sensori accelerometrici i cui segnali vengono elaborati per l'evidenziazione di anomalie. Tuttavia gli attuali metodi di elaborazione dei segnali dei sensori per il riconoscimento di anomalie non sono sufficientemente sensibili ed in grado di individuare i guasti con sufficiente anticipo rispetto alla rottura catastrofica.

Scopo della presente invenzione è quello di realizzare un metodo di sorveglianza in grado di

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

evidenziare affidabilmente e precocemente possibili condizioni di anomalia e malfunzionamento che potrebbero portare a guasti.

Secondo la presente invenzione viene realizzato un metodo di sorveglianza di un gruppo di trasmissione in un veicolo dotato di sensori accelerometrici, in particolare in un elicottero, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

a) acquisire un segnale da un sensore accelerometrico;

b) calcolare la trasformata di Hilbert di detto segnale;

c) definire un segnale complesso avente come parte reale detto segnale e come parte immaginaria detta trasformata di Hilbert di detto segnale;

d) calcolare la differenza fra la fase di detto segnale complesso ed una fase di riferimento per ottenere un segnale di fase;

e) calcolare la variabilità di detto segnale di fase per ottenere un segnale di variabilità; e

f) confrontare detto segnale di variabilità con almeno una prima soglia prefissata.

L'invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni allegati, che ne illustrano esempi di realizzazione non limitativi, in cui:

CERBARO Elena
[iscrizione Albo nr 426/BM]

- la figura 1 è una vista dall'alto di un elicottero, nella quale è evidenziata schematicamente la trasmissione dell'elicottero stesso;

- la figura 2 presenta uno schema semplificato della trasmissione dell'elicottero mostrante la posizione di sensori associati ai diversi organi della trasmissione;

- le figure 3-5 mostrano schemi di flusso relativi a fasi di metodo secondo l'invenzione.

Nelle figura 1 e 2 un elicottero 100 è mostrato schematicamente relativamente agli organi necessari per la comprensione della presente invenzione.

In particolare, l'elicottero 100 comprende un primo motore 101, un secondo motore 102 ed un terzo motore 103; il primo motore 101 è collegato, tramite una prima linea di trasmissione 104 includente un primo, un secondo ed un terzo riduttore 105-107, ad un ingranaggio di ingresso 108 di un gruppo ingranaggi principale 109; il secondo motore 102 è collegato, attraverso una seconda linea di trasmissione 111 comprendente un quarto, un quinto ed un sesto riduttore 112-114, all'ingranaggio di ingresso 108; e il terzo motore 103 è collegato, attraverso una terza linea di trasmissione 116 comprendente un settimo, un ottavo ed un nono riduttore 117-119, all'ingranaggio di ingresso 108.

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

L'ingranaggio di ingresso 108 è collegato ad un rotore 121 dell'elicottero 100 attraverso un riduttore epicicloidale 122 appartenente al gruppo ingranaggi principale 109 e comprendente sei satelliti 123 ed un solare 124; l'ingranaggio di ingresso 108 è inoltre collegato, attraverso una quarta linea di trasmissione 125 collegata anche alla prima linea di trasmissione 104, ad una scatola accessori indicata schematicamente con 126 e ad una quinta linea di trasmissione 130 portante ad un rotore di coda 134 e comprendente un ingranaggio di presa di forza 131, giunti intermedi 135-137, una scatola ingranaggi intermedia 139 ed una scatola ingranaggi di coda 140.

Nello schema di fig. 2, sono mostrati quindici sensori accelerometrici 1-15 e due sensori di azimuth 16, 17 montati in prossimità degli stadi di riduzione, come indicato in dettaglio nella seguente tabella I.

Sensore	Posiz	Sensore	Posiz	Sensore	Posiz
1	105	7	131	13	140
2	112	8	122 (davanti)	14	136
3	117	9	122 (destra)	15	137
4	107	10	122 (sinistra)	16	108
5	114	11	126	17	139
6	119	12	139		

TABELLA I

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

L'elicottero 100 comprende inoltre un'unità elaborazione dati 150 collegata ai sensori 1-17 attraverso una apposita unità di interfaccia 151 che ha lo scopo di campionare e digitalizzare i segnali forniti dai sensori stessi. L'unità di elaborazione 150 è inoltre collegata ad una memoria dati 152, ad una memoria eventi 153 e ad un processore matematico 154.

Il metodo di sorveglianza descritto qui di seguito permette di evidenziare, dall'analisi dei segnali forniti dai sensori accelerometrici 1-7, 12 e 13, problemi insorgenti durante il volo, ed in particolare problemi meccanici, problemi di trasmissione di coppia, problemi strutturali legati alla creazione di cricche e problemi nella modulazione di fase dei segnali; in tutti questi casi, infatti, è presente un picco in almeno uno dei segnali analizzati e tale picco è rilevabile col metodo descritto.

Il metodo di sorveglianza permette di elaborare un segnale $s(t)$ fornito dal sensore accelerometrico di volta in volta considerato fra i sensori 1-7, 12 e 13, utilizzando un segnale $s_1(t)$ fornito dal sensore di azimut disposto su un albero collegato al riduttore monitorato dal sensore considerato (sensore di azimut 16 per i sensori accelerometrici 1-7 e sensore di azimut 17 per i sensori accelerometrici 12, 13). Il segnale $s(t)$ è

CERBARO Elena
[iscrizione Albo nr 426/BM]

di tipo vibratorio (legato alla frequenza di rotazione dell'albero associato al sensore considerato) ed è affetto da rumore casuale nonché da rumore legato alla vicinanza di altri organi rotanti.

In dettaglio, con riferimento alla fig. 3, il metodo comprende una fase iniziale includente l'inizializzazione di una variabile F (il cui significato è descritto in seguito con riferimento alla fig. 5) ad un primo valore prefissato, ad esempio 0 (blocco 20).

Quindi, blocco 21, viene acquisito il segnale $s(t)$ nonché il segnale $s_1(t)$ e viene calcolata una frequenza FS di campionamento moltiplicando la frequenza del segnale $s_1(t)$ fornito dal sensore di azimuth per un coefficiente KT memorizzato pari al rapporto di due numeri interi primi fra loro, ed in particolare correlato al rapporto di trasmissione fra l'albero del sensore di azimuth e l'albero monitorato dal sensore considerato, in modo tale che la frequenza FS di campionamento così ottenuta sia correlata alla frequenza del sensore di azimuth e sia tale da fornire esattamente NJ punti (con NJ potenza di 2) del segnale $s(t)$ per ogni rivoluzione dell'asse monitorato.

Successivamente, il segnale $s(t)$ viene campionato con frequenza FS e filtrato dall'unità di interfaccia

151 per rimuovere il rumore casuale e le componenti periodiche non sincrone, blocco 22, ottenendo un segnale filtrato $T_{lm}(i)$ formato da una pluralità di campioni, contraddistinti dall'indice i . Preferibilmente, il campionamento e il filtraggio del segnale $s(t)$ vengono eseguiti utilizzando la sequenza di fasi illustrata in fig. 4 e descritta in seguito.

Il segnale $T_{lm}(i)$ viene ulteriormente filtrato mediante un filtro passa-banda centrato sulla frequenza di ingranamento dell'ingranaggio, così da ottenere un segnale medio filtrato $T'_{lm}(i)$, blocco 24.

Viene quindi calcolata la trasformata di Hilbert $H[T'_{lm}(i)]$ del segnale $T'_{lm}(i)$, blocco 25, e viene ricavato un segnale complesso $C_{lm}(i)$, blocco 26, legato al segnale $T'_{lm}(i)$ dalla seguente relazione:

$$C_{lm}(i) = T'_{lm}(i) + jH[T'_{lm}(i)]$$

Viene quindi determinata e memorizzata la fase iniziale P_0 del segnale $C_{lm}(i)$, blocco 27, dopodiché vengono determinate, e memorizzate, fasi istantanee $P(i)$, blocco 28, mediante la seguente relazione:

$$P(i) = \frac{2\pi Z}{NJ} \cdot i \quad i = 1 \dots NJ$$

in cui Z è il numero di denti dell'ingranaggio.

Viene quindi calcolata la fase $FC(i)$ del segnale

complesso $C_{1m}(i)$, blocco 29, utilizzando la seguente relazione:

$$FC(i) = \arg[C_{1m}(i)] - P(i) - P_0$$

dove $\arg[C_{1m}(i)]$ è l'argomento del numero complesso $C_{1m}(i)$, definito come $\arctg\{T'_{1m}(i)/H[T'_{1m}(i)]\}$, mentre $P(i)$ e P_0 sono i valori di fase precedentemente calcolati.

Quindi, blocco 30, viene calcolata la varianza V del segnale $FC(i)$. Il valore V così ottenuto viene confrontato dall'unità di elaborazione centrale 150 con due valori di soglia $TH1$ e $TH2$ (con $TH1 < TH2$) per la generazione eventuale di segnali di allarme (blocco 31), secondo una procedura descritta più in dettaglio in seguito con riferimento alla fig. 5, e il monitoraggio prosegue con una successiva porzione del segnale $s(t)$, tornando al blocco 21.

Convenientemente, il campionamento e il filtraggio secondo il blocco 22 vengono eseguiti secondo il metodo descritto qui di seguito con riferimento alla fig. 4.

Inizialmente, viene inizializzato a 1 un contatore di rivoluzioni l , blocco 41; il segnale $s(t)$ viene quindi campionato alla frequenza FS precedentemente definita, ottenendo NJ punti o campioni $T_l(i)$, rappresentanti una serie temporale vibratoria sincrona relativa al sensore considerato, all'albero associato e

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

a ciascuna rotazione l -esima, blocco 42.

Quindi viene verificato il valore del contatore l ed in particolare se esso sia minore o uguale di un valore prefissato $K1$, blocco 43; se il contatore è minore o uguale di $K1$ (sono state eseguite meno di $K1$ iterazioni corrispondenti alle rivoluzioni dell'albero monitorato, uscita SI dal blocco 43), viene verificata la disponibilità del segnale, calcolando la somma Δ_d dei campioni acquisiti nella l -esima rivoluzione effettuata, secondo la relazione:

$$\Delta_d = \sum_{i=1}^{NJ} |T_{K1}(i)|$$

blocco 47. Quindi, blocco 48, viene calcolato un valore limite Δ_1 dato da:

$$\Delta_1 = K2 \times FSV \times NJ$$

in cui FSV è il valore di fondo scala e $K2$ è una costante prefissata molto minore di 1, e viene verificato se la somma Δ_d appena calcolata è minore del valore limite Δ_1 (blocco 49). In caso negativo (uscita NO dal blocco 49) il segnale viene considerato esistente, il contatore l viene incrementato (blocco 50) e vengono acquisiti ulteriori NJ punti relativi ad una rotazione successiva, tornando al blocco 42; viceversa (uscita SI dal blocco 49), il segnale viene considerato inesistente e viene generato un segnale di allarme

(blocco 51); viene verificato se è presente un sensore di sostituzione (ad esempio il sensore 6 per i sensori 4 e 5, blocco 52); in caso positivo (uscita SI dal blocco 52) la procedura viene ripetuta sul sensore di sostituzione tornando al blocco 21 dello schema di fig. 3; in assenza di sensore di sostituzione o nel caso che non venga raggiunta la convergenza neppure con il sensore di sostituzione (uscita NO dal blocco 52), la procedura viene interrotta.

Se invece il contatore l è maggiore di $K1$ (sono state eseguite più di $K1$ iterazioni corrispondenti alle rivoluzioni dell'albero monitorato, uscita NO dal blocco 43), dal blocco 43 si passa al blocco 55, in cui viene calcolata la serie temporale sincrona contigua mediata $T_{lm}(i)$ definente il suddetto segnale filtrato calcolato nel blocco 22, secondo la relazione:

$$T_{lm}(i) = \frac{\sum_{r=1}^l T_r(i)}{l} \quad i = 1 \dots NJ$$

ovvero viene calcolato il valore medio di ciascun campione $T_i(i)$ sulle l rivoluzioni considerate.

Viene quindi verificata la convergenza del processo di mediatura, calcolando un valore di convergenza Δ dato dalla somma, su tutti i campioni, del valore assoluto della differenza fra il valore medio attuale di ciascun

campione e il valore medio calcolato in una precedente rivoluzione (a distanza 4) diviso per la somma dei campioni medi nella rivoluzione precedente (a distanza 4) considerata, secondo la relazione:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{NJ} |T_{lm}(i) - T_{lm-4}(i)|}{\sum_{i=1}^{NJ} |T_{lm-4}(i)|}$$

in cui $T_{lm}(i)$ rappresenta l' i -esimo campione appartenente alla l -esima iterazione e $T_{lm-4}(i)$ rappresenta l' i -esimo campione appartenente alla iterazione $l-4$ -esima, blocco 56.

Quindi viene verificato se il valore di convergenza calcolato è minore o uguale di un valore di convergenza minimo ammissibile prefissato Δ_c , blocco 57; se tale condizione è verificata (uscita SI), il processo di convergenza viene interrotto, con ritorno al programma principale (blocco 23 di fig. 3); altrimenti viene verificato se il processo di mediatura è stato già eseguito un numero massimo prefissato di volte L , blocco 59. Se il contatore di iterazioni (rivoluzioni) l è minore di L (uscita NO), il contatore viene incrementato, blocco 50, e vengono ripetute le operazioni sopra descritte, altrimenti (uscita SI) viene ripetuta la procedura di generazione del segnale di

allarme e di ripetizione eventuale con un sensore di sostituzione come sopra descritto con riferimento ai blocchi 51-52.

Convenientemente, la fase di confronto con le soglie e generazione di allarme secondo il blocco 31 di fig. 3 viene eseguita come descritto qui di seguito con riferimento alla fig. 5.

In dettaglio, inizialmente V viene confrontata con la prima soglia $TH1$, blocco 60; se $V < TH1$ (uscita SI), viene proseguito il monitoraggio su un successivo gruppo di campioni, ritornando al blocco 21 di fig. 3; viceversa, se vi è stato un superamento della soglia $TH1$ (uscita NO dal blocco 60), l'evento viene memorizzato nella memoria eventi 153 (blocco 62) e V viene confrontata con la seconda soglia $TH2$ (blocco 64). Se $V < TH2$ (uscita SI dal blocco 64), la variabile F (inizializzata nel blocco 20 di fig. 3 ed avente lo scopo di memorizzare se è stata già precedentemente superata la soglia $TH2$) viene settata (o confermata) al primo valore prefissato, nell'esempio 0 (blocco 66), e viene proseguito il monitoraggio su un successivo gruppo di campioni, ritornando al blocco 21 di fig. 3; viceversa (uscita NO dal blocco 64), l'evento viene memorizzato nella memoria eventi 153 (blocco 68) e viene verificato il valore della variabile F (blocco 70). In

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BMI)

particolare, se la variabile F presenta il primo valore prefissato (uscita SI), F viene settata ad un secondo valore prefissato, ad esempio 1, (blocco 72), e il monitoraggio viene proseguito su un successivo gruppo di campioni, ritornando al blocco 21 di fig. 3; se invece la variabile F presenta il secondo valore prefissato, ovvero è stata già precedentemente superata la soglia $TH2$, (uscita NO dal blocco 70), viene generato un segnale di allarme per il pilota (blocco 74), la variabile F viene nuovamente settata al primo valore prefissato (blocco 76), e si riprende quindi il monitoraggio sui successivi campioni, tornando al blocco 21 di fig. 3.

Il metodo descritto presenta i seguenti vantaggi. In primo luogo, dal controllo contemporaneo dei diversi sensori installati è possibile monitorare istante per istante diverse parti della struttura dell'elicottero e rilevare problemi meccanici incipienti derivanti dal degrado dei componenti rotanti della trasmissione. Sempre a livello strutturale, il metodo presentato permette di rilevare la presenza di cricche in parti dell'elicottero particolarmente sollecitate, che potrebbero portare in breve tempo a rotture.

Infine, a livello di elaborazione dei segnali, il metodo permette di individuare eventuali problemi nella

modulazione dei segnali provenienti dai sensori.

Risulta infine chiaro che al metodo qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione. In particolare, la procedura di filtraggio e determinazione della media può variare rispetto a quanto descritto, così come la procedura di generazione degli allarmi.

CERBARO Elena
[iscrizione Albo nr 426/BM]

R I V E N D I C A Z I O N I

1. Metodo di sorveglianza di un gruppo di trasmissione in un veicolo dotato di sensori accelerometrici, in particolare in un elicottero, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

a) acquisire un segnale $(s(t))$ da un sensore accelerometrico;

b) calcolare la trasformata di Hilbert $(H[T'_{lm}(i)])$ di detto segnale;

c) definire un segnale complesso $(C_{lm}(i))$ avente come parte reale detto segnale e come parte immaginaria detta trasformata di Hilbert di detto segnale;

d) calcolare la differenza fra la fase di detto segnale complesso ed una fase di riferimento per ottenere un segnale di fase $(FC(i))$;

e) calcolare la variabilità di detto segnale di fase per ottenere un segnale di variabilità (V) ; e

f) confrontare detto segnale di variabilità (V) con almeno una prima soglia prefissata $(TH1, TH2)$.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto segnale di variabilità è la varianza di detto segnale di fase.

3. Metodo secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto di ripetere dette fasi da a) a f) per una pluralità di iterazioni.

CERBARO Elena
[iscrizione Albo nr 426/BM]

4. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che prima di detta fase di calcolare detta trasformata di Hilbert viene eseguita una fase di campionare e filtrare detto segnale.

5. Metodo secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta fase di campionare e filtrare comprende le fasi di:

- acquisire una pluralità di campioni sincroni ($T_1(i)$) per ogni rotazione di un albero associato a detto sensore accelerometrico; e

- calcolare una serie temporale mediata ($T_{lm}(i)$), secondo la relazione:

$$T_{lm}(i) = \frac{\sum_{r=1}^l T_r(i)}{l} \quad i = 1 \dots NJ$$

in cui $T_1(i)$ sono detti campioni sincroni e l è un contatore del numero di rotazioni di detto albero.

6. Metodo secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detta fase di campionare e filtrare comprende anche la fase di filtrare detta serie temporale mediata ($T_{lm}(i)$) con un filtro passa-banda centrato ad una frequenza prestabilita, per ottenere un segnale medio filtrato ($T'_{lm}(i)$).

7. Metodo secondo la rivendicazione 5 o 6,

caratterizzato dal fatto che, prima di detta fase di calcolare una serie temporale mediata viene eseguita una fase di verificare la presenza di valori significativi di segnale.

8. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 5 a 7, caratterizzato dal fatto che, dopo detta fase di calcolare una serie temporale mediata, viene eseguita una fase di verifica di convergenza di detta serie temporale mediata.

9. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta fase di confrontare detto segnale di variabilità comprende inoltre la fase di confrontare detto segnale di variabilità con una seconda soglia.

10. Metodo di sorveglianza di un gruppo di trasmissione in un veicolo dotato di sensori accelerometrici, in particolare in un elicottero, sostanzialmente come descritto con riferimento ai disegni allegati.

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.

CERBARO Elena
iscrizione Albo nr 426/BM

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)



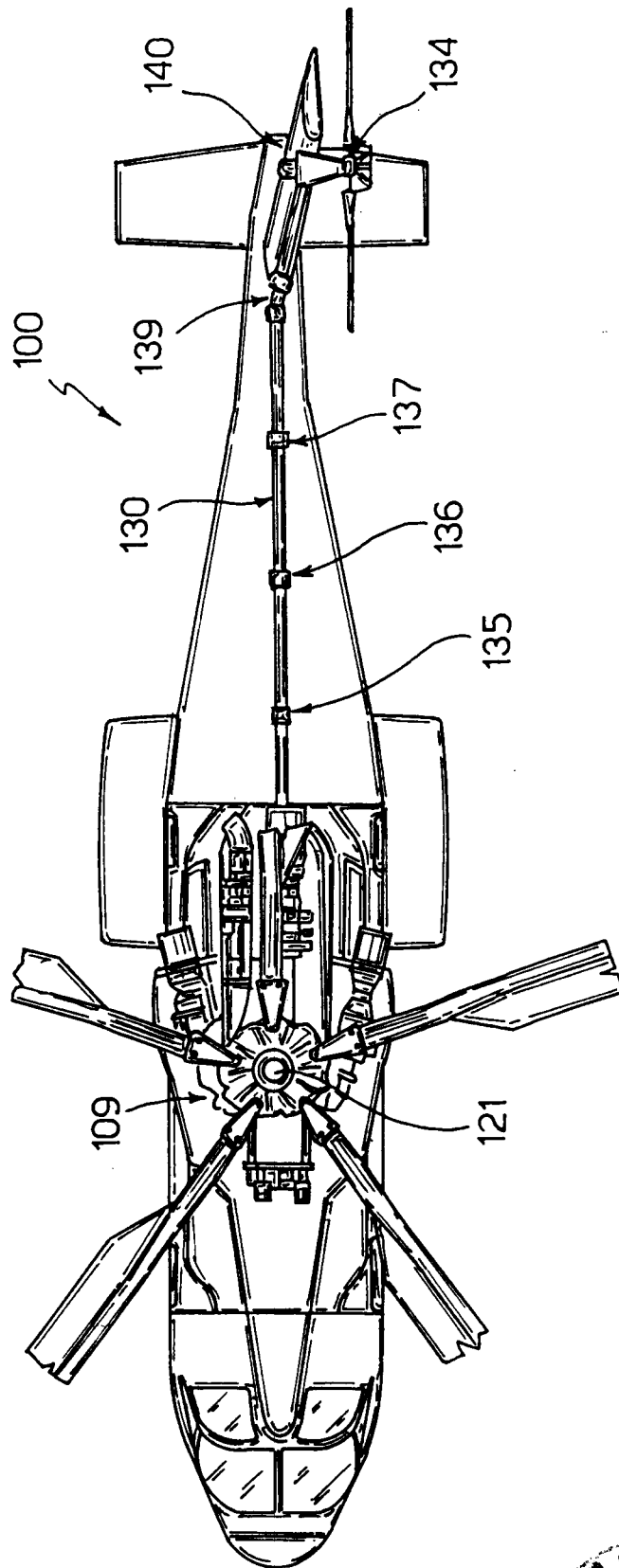


Fig.1

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.

CERBATO Elong
 (iscrizione Albo nr 426/BM)



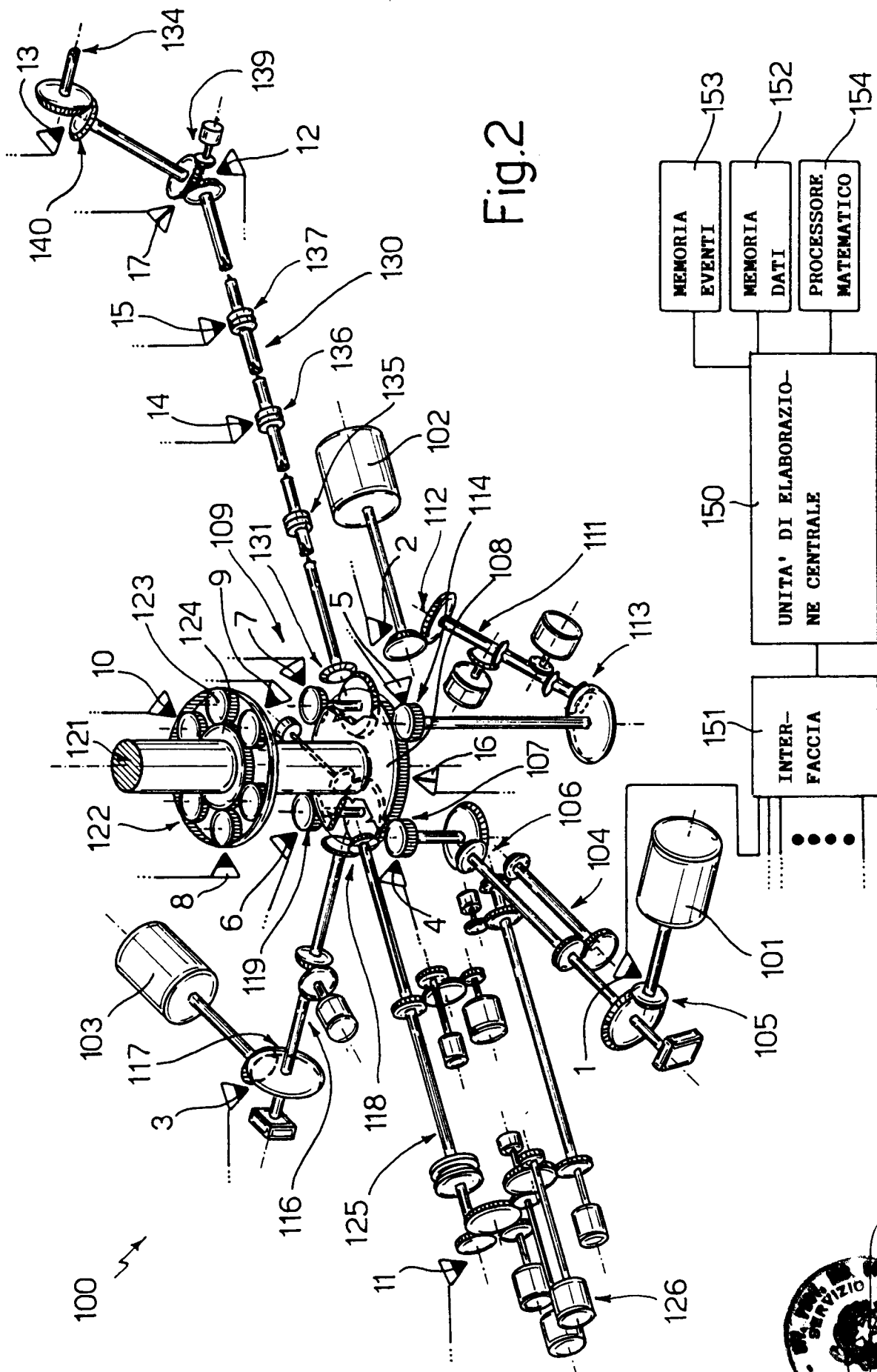


Fig. 2

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)



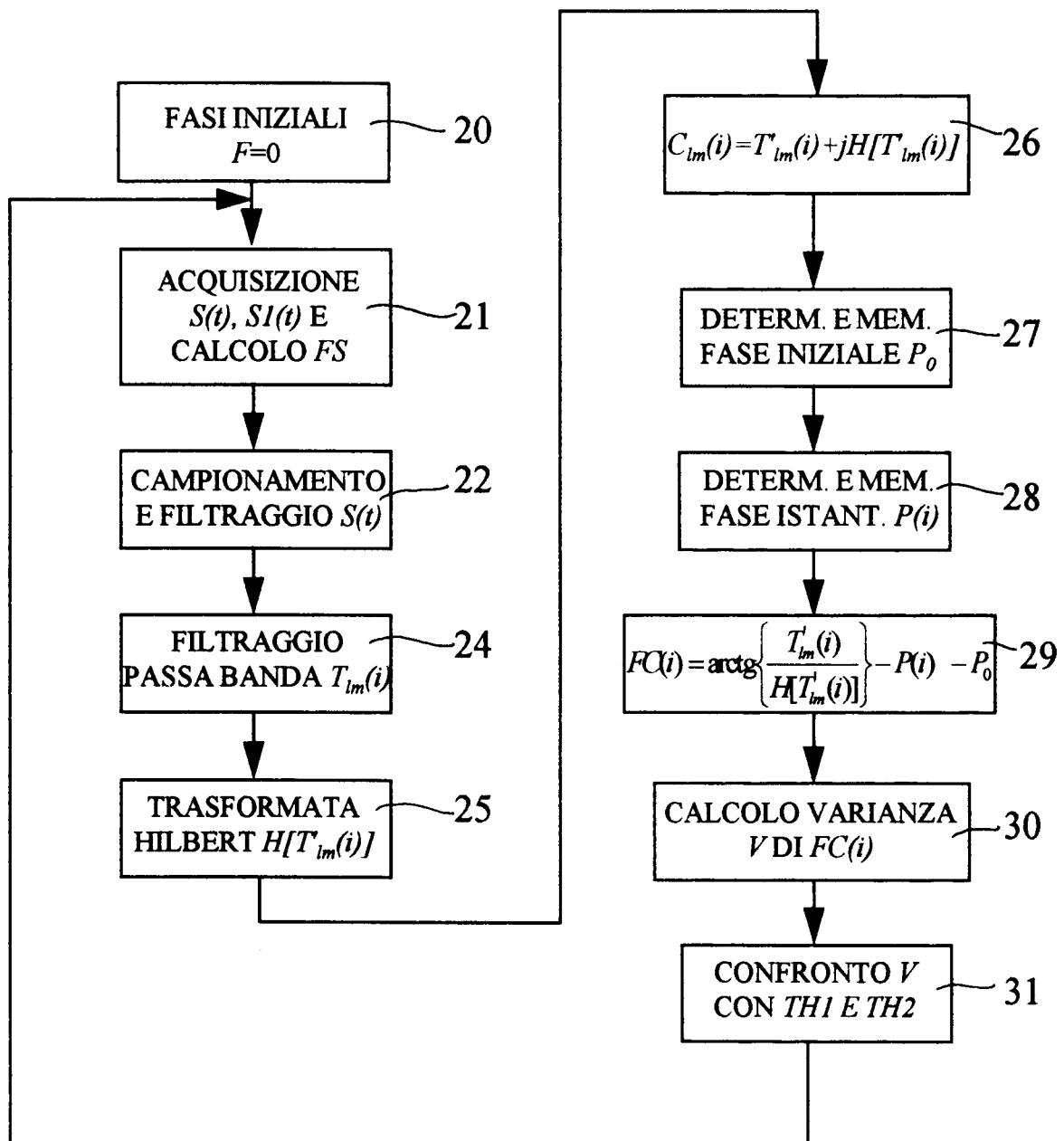


Fig. 3



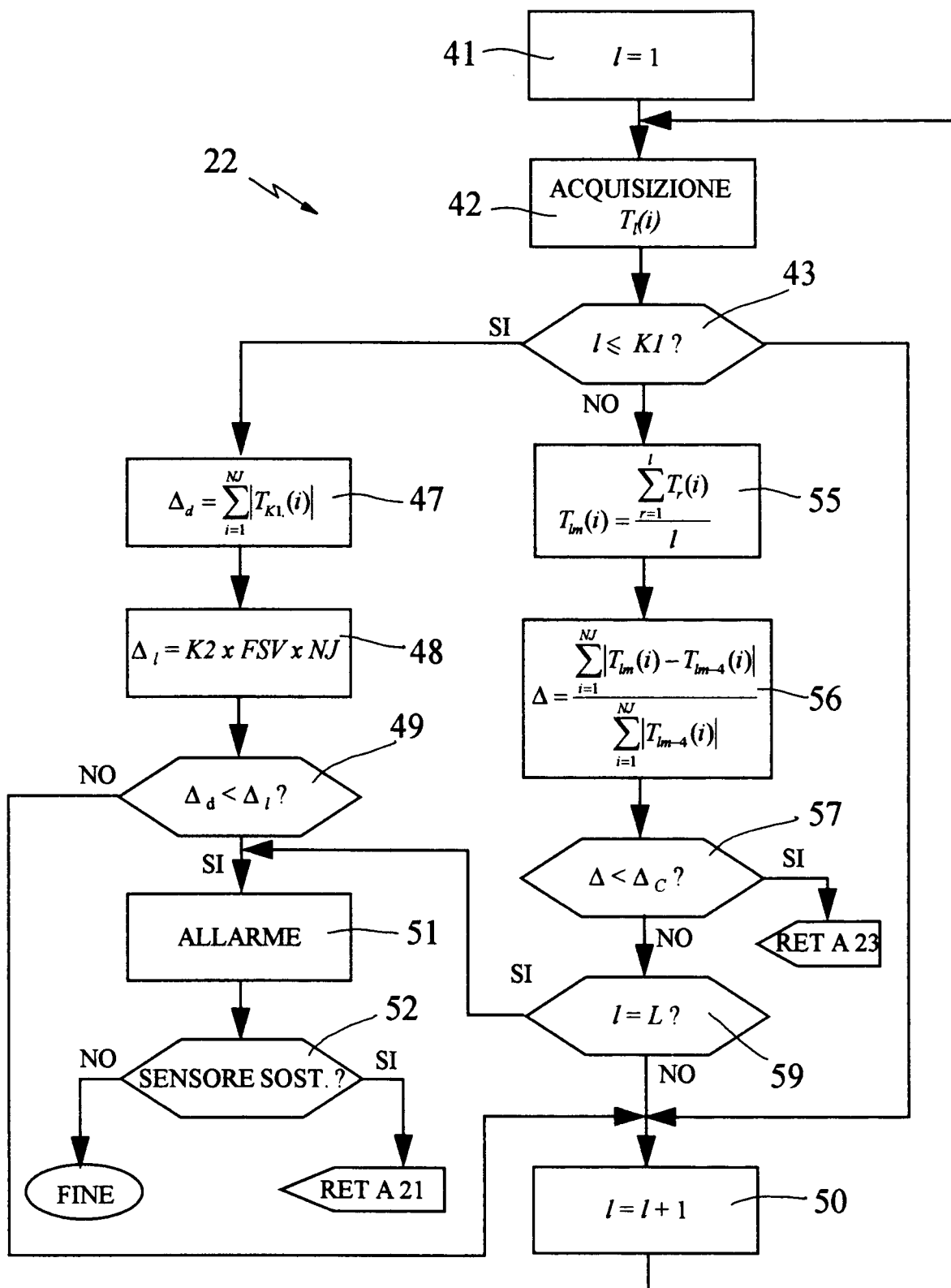


Fig. 4



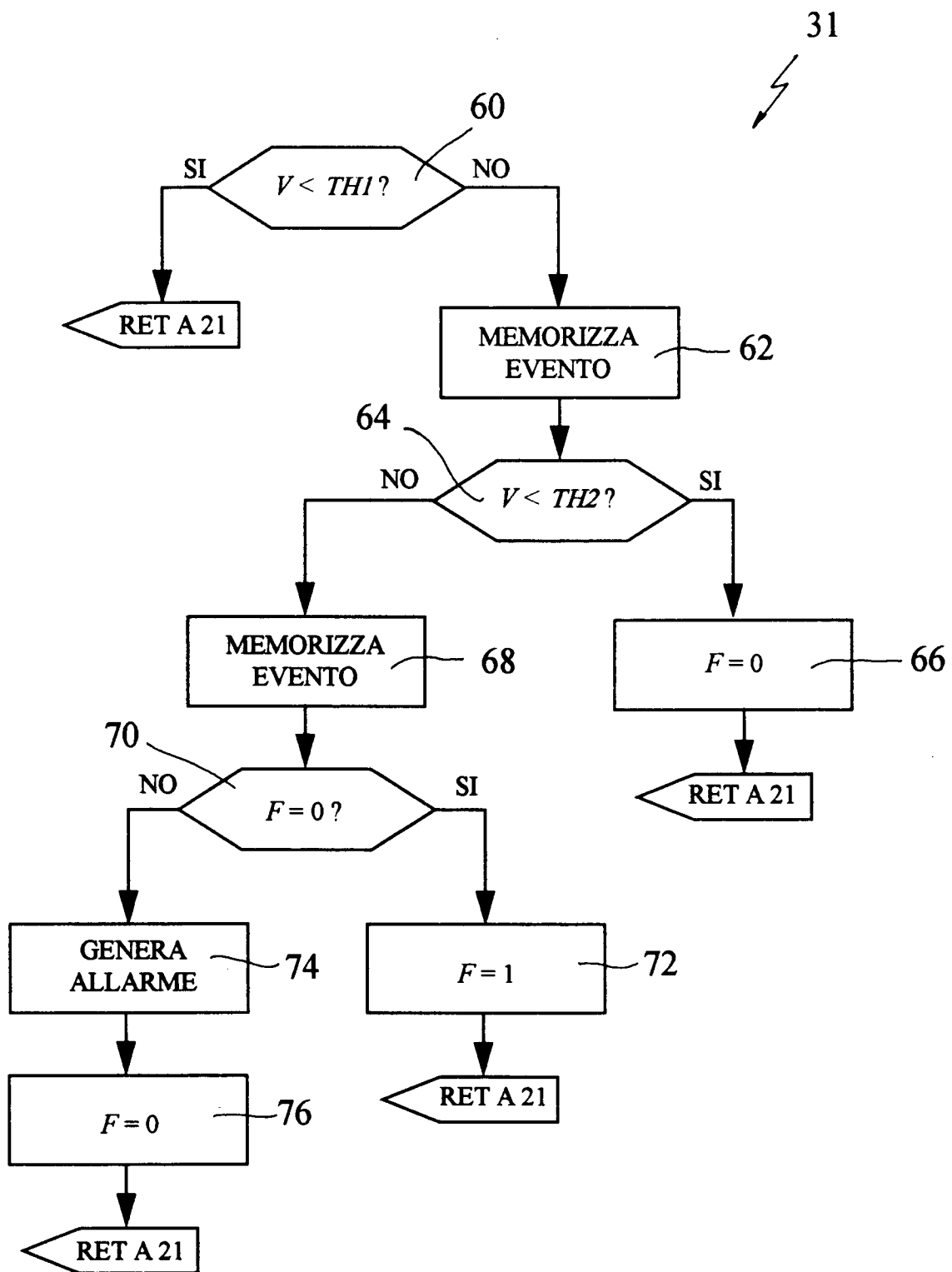


Fig. 5

