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

UIBM

DOMANDA NUMERO	101997900608984
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 EPICICLOIDALE IN UN VEICOLO DOTATO DI SENSORI ACCELEROMETRICI, IN PARTICOLARE IN UN ELICOTTERO.

D E S C R I Z I O N E

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

*** *** *** TO 97A 000594

La presente invenzione è relativa ad un metodo di sorveglianza di un gruppo epicicloidale 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, in particolare nel caso di gruppi epicicloidali nei quali il segnale non è ciclico rispetto alle rotazioni

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

degli alberi collegati, ma è influenzato dall'avvicinarsi ed allontanarsi dei satelliti.

Scopo della presente invenzione è quello di realizzare un metodo di sorveglianza in grado di 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 epicicloidale 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) campionare detto segnale ad una frequenza di campionamento, ottenendo una sequenza iniziale di campioni;

c) suddividere i campioni di detta sequenza iniziale in gruppi formati ciascuno da un numero prefissato di campioni, detti gruppi di campioni essendo disposti tra loro in successione ed avendo una propria posizione in detta successione;

d) acquisire gruppi di campioni prefissati; e

e) elaborare detti gruppi di campioni prefissati per ottenere una sequenza finale di campioni.

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

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

- 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 3-6 mostrano schemi di flusso relativi a fasi di una prima forma realizzativa del metodo secondo l'invenzione;

- la figura 7 mostra una finestra di filtraggio utilizzata nella prima forma realizzativa del presente metodo;

- le figure 8-10 mostrano spettri in frequenza relativi al presente metodo;

- la figura 11 mostra uno schema di flusso relativo a fasi di una seconda forma realizzativa del metodo secondo l'invenzione; e

- la figura 12 mostra una finestra di filtraggio utilizzata nella seconda forma realizzativa del presente metodo.

Nelle figure 1 e 2 un elicottero 100 è mostrato

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

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.

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

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

ingranaggio di presa di forza 131, giunti intermedi 135-138, 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 azimut 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

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

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

consente di migliorare la "visibilità" delle irregolarità vibrazionali nei sei satelliti 123 e nel solare 124 del riduttore epicicloidale 122 sulla base dei segnali forniti dai sensori accelerometrici 8-10.

Il metodo di sorveglianza permette di elaborare un segnale *s(t)* fornito dal sensore accelerometrico di volta in volta considerato fra i sensori 8-10 utilizzando un segnale *s1(t)* fornito dal sensore di azimut 16 disposto in corrispondenza dell'ingranaggio di ingresso 108. Il segnale *s(t)* è di tipo vibratorio (legato alla frequenza di rotazione del riduttore epicicloidale 122) ed è affetto da rumore casuale nonché da rumore legato alla vicinanza di altri organi rotanti.

Per quanto riguarda la sorveglianza dei satelliti 123, il metodo comprende, come illustrato in fig. 3, una fase iniziale includente l'inizializzazione di una variabile *F* (il cui significato sarà descritto in seguito con riferimento alla fig. 6) ad un primo valore prefissato, ad esempio 0 (blocco 20).

Viene quindi inizializzato un contatore di ripetizioni *S* (il cui significato sarà descritto in seguito con riferimento alla fig. 5) ad un primo valore prefissato, ad esempio 0 (blocco 21).

Viene quindi acquisito il segnale *s(t)*, fornito di volta in volta da uno dei sensori 8-10 (blocco 22),

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

nonché il segnale *s1(t)* fornito dal sensore di azimut 16 e viene calcolata una frequenza *FS* di campionamento moltiplicando la frequenza del segnale *s1(t)* per un coefficiente *KT* memorizzato pari al rapporto di due numeri interi primi fra loro, in modo tale che la frequenza *FS* di campionamento così ottenuta sia correlata alla frequenza del sensore di azimut 16 e sia tale da fornire esattamente *NJ* punti (con *NJ* potenza di 2) del segnale *s(t)* per ogni rivoluzione dell'asse monitorato (blocco 23).

Successivamente, il segnale *s(t)* viene campionato alla frequenza *FS*, ottenendo così una sequenza iniziale di campioni $T_1(i)$ riferita al sensore considerato e a ciascuna rotazione *I*-esima (blocco 24); i campioni $T_1(i)$ della sequenza iniziale vengono quindi memorizzati nella memoria dati 152 (blocco 25).

Successivamente, i campioni $T_1(i)$ della sequenza iniziale vengono suddivisi in gruppi formati, ciascuno, da *NJ* campioni $T_1(i)$, con *NJ*=1024 (blocco 26); in particolare, i gruppi sono disposti tra loro in successione e sono identificabili, ciascuno, mediante la propria posizione nella successione appena determinata. Inoltre, il primo gruppo (ossia il gruppo avente posizione 1) viene formato a partire dal primo campione della sequenza.

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

Su tali gruppi di campioni viene quindi eseguita una prima operazione di filtraggio, ottenendo una prima sequenza intermedia di campioni $T_{1m}(i)$ composta da 1024 campioni (blocco 27). Preferibilmente, l'operazione di filtraggio viene eseguita utilizzando la sequenza di fasi illustrata in fig. 4 e descritta in seguito.

Viene quindi eseguita una seconda operazione di filtraggio sui 1024 campioni della prima sequenza intermedia, ottenendo così una seconda sequenza intermedia di campioni $T_F(i)$ composta anch'essa da 1024 campioni (blocco 28). In particolare, la seconda operazione di filtraggio prevede di moltiplicare i campioni $T_{1m}(i)$ della prima sequenza intermedia per una funzione $F(t)$ del tipo illustrata in figura 7, avente equazione:

$$F(t)=\begin{cases} sin(t)/2 & (con\ -\pi/2 \le t \le \pi/2) \quad per\ i\ primi\ 275\ campioni \\ 1 & \quad per\ i\ 474\ campioni\ centrali \\ sin(t)/2 & (con\ \pi/2 \le t \le 3\pi/2) \quad per\ gli\ ultimi\ 275\ campioni \end{cases}$$

In pratica, la finestra temporale $F(t)$ non modifica l'ampiezza dei 474 campioni centrali, modifica le ampiezze dei primi 275 campioni moltiplicandole per valori sinusoidalmente crescenti da 0 a 1, e modifica le ampiezza degli ultimi 275 campioni moltiplicandole per valori sinusoidalmente decrescenti da 1 a 0. Convenientemente, tale operazione di filtraggio può

CERBARO Elena
Iscrizione Albo n. 426/BM

essere eseguita moltiplicando le ampiezze dei 550 campioni laterali per valori tabellati.

Viene quindi effettuata una elaborazione della seconda sequenza intermedia di campioni $T_f(i)$, nel modo descritto in dettaglio in seguito con riferimento alla figura 5, ottenendo una sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$ della quale viene calcolato un momento di ordine sesto *M6A* (blocco 29).

Successivamente, l'unità di elaborazione centrale 150 confronta il momento di ordine sesto *M6A* con due valori di soglia *TH1* e *TH2* (con $TH1 < TH2$) per la generazione eventuale di segnali di allarme (blocco 30), secondo una procedura descritta più dettaglio in seguito con riferimento alla fig. 6.

Viene quindi incrementato di una unità il contatore di ripetizioni *S* (blocco 31) ed il suo valore viene confrontato con un valore massimo *STH* prefissato, legato al numero di satelliti, nel caso specifico pari a 6 (blocco 32). Se il valore del contatore di ripetizioni *S* è minore di *STH* (uscita SI dal blocco 32) allora si ritorna al blocco 26 e vengono ripetute le operazioni descritte nei blocchi 26-32 modificando opportunamente la suddivisione dei campioni in gruppi in base al valore del contatore di ripetizioni *S* stesso, come descritto in dettaglio in seguito; viceversa se il valore del

CERBARO Elena
iscrizione Albo nr 426/BM

contatore di ripetizioni *S* è maggiore di *STH* (uscita NO dal blocco 32) il monitoraggio prosegue con una successiva porzione del segnale *s(t)*, tornando al blocco 21.

Convenientemente, la prima operazione di filtraggio secondo il blocco 27 viene eseguita secondo il metodo descritto qui di seguito con riferimento alla fig. 4.

Inizialmente, viene inizializzato a 1 un contatore di gruppi *l* (blocco 40), viene letta nella memoria dati 152 una sequenza di numeri di identificazione N_1-N_n rappresentanti la posizione di un rispettivo gruppo di campioni all'interno della successione di gruppi definita nel blocco 26 e vengono identificati i gruppi di campioni aventi posizioni N_1-N_n all'interno della successione di gruppi determinata nel blocco 26 (blocco 41).

Viene quindi acquisito il gruppo di campioni avente posizione N_l, il quale è formato, come sopra detto, da 1024 campioni $T_l(i)$, in cui *l* è il valore del contatore di gruppi sopra indicato (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 stati acquisiti meno di *K1* gruppi di campioni, uscita SI dal blocco 43), viene

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

verificata la disponibilità del segnale, calcolando la somma Δ_d dei campioni acquisiti nella *l*-esima acquisizione effettuata (blocco 47), secondo la relazione:

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

Quindi viene calcolato un valore limite Δ_l dato da:

$$\Delta_l = K2 \times FSV \times NJ$$

in cui *FSV* è il valore di fondo scala e *K2* è una costante prefissata, molto minore di 1, blocco 48, e viene verificato se la somma Δ_d appena calcolata è minore del valore limite Δ_l (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 1024 campioni $T_l(i)$ relativi ad un successivo gruppo di campioni avente posizione N_l, 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 quindi verificato se è presente un sensore di sostituzione (ad esempio il sensore 10 per il sensore 8, 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.

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

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 stati acquisiti in successione i gruppi di campioni aventi posizioni N_1, N_2, ..., N_{K1}, uscita NO dal blocco 43), dal blocco 43 si passa al blocco 55, in cui viene calcolata la serie temporale sincrona mediata $T_{lm}(i)$, definente la suddetta prima sequenza intermedia di campioni $T_{lm}(i)$, secondo la relazione:

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

ovvero viene calcolato il valore medio di ciascun campione $T_l(i)$ sulle *l* acquisizioni 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 acquisizione (a distanza 4) diviso per la somma dei campioni medi nella acquisizione precedente (a distanza 4) considerata, secondo la relazione:

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

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

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 ad 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, con L=60 (blocco 59). Se il contatore di gruppi (acquisizioni) 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 elaborazione della seconda sequenza intermedia di campioni $T_F(i)$ per ottenere la sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$, della

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

quale viene poi calcolato il momento di ordine sesto *M6A* secondo il blocco 29 di fig. 3, viene eseguita come descritto qui di seguito con riferimento alla fig. 5.

Inizialmente viene calcolata la trasformata di Fourier veloce *F(k)* (FFT-Fast Fourier Transform) della seconda sequenza intermedia di campioni $T_f(i)$ (blocco 60), preferibilmente utilizzando il processore matematico 154.

La trasformata *F(k)* fornisce così lo spettro in frequenza, illustrato in figura 8, della seconda sequenza intermedia di campioni $T_f(i)$, il quale definisce una terza sequenza intermedia di campioni S_i aventi, ciascuno, una propria frequenza ed una propria ampiezza; l'ampiezza di ciascun campione, inoltre, è espressa in rappresentazione cartesiana, ossia mediante un numero complesso avente parte reale e parte immaginaria.

Vengono quindi lette nella memoria dati 152 una prima ed una seconda frequenza di riferimento *HC0*, *LC0*, con *HC0<LC0*, specifiche per i sei satelliti 123 (blocco 61).

Vengono quindi poste a zero le ampiezze dei campioni della terza sequenza intermedia di campioni S_i aventi frequenza minore della prima frequenza di riferimento *HC0* (blocco 62) e le ampiezze dei campioni aventi frequenza maggiore della seconda frequenza di

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

riferimento *LC0* (blocco 63), ottenendo così una quarta sequenza intermedia di campioni S_2 illustrata in fig. 9.

A ciascun campione della quarta sequenza intermedia di campioni S_2 viene quindi associato, come mostrato in fig. 9, un rispettivo valore di identificazione *NORDi* secondo una legge di assegnazione in base alla quale i campioni vengono numerati secondo un ordine di ampiezza decrescente (ossia partendo da quello di ampiezza maggiore verso quello di ampiezza minore) e a ciascun campione viene assegnato, a partire dal campione di ampiezza maggiore, un rispettivo valore di identificazione *NORDi* intero e crescente a partire dal valore 1 (blocco 64).

Successivamente, viene letto nella memoria dati 152 (blocco 65) un valore di riferimento *R* associato alla prima ed alla seconda frequenza di riferimento *HC0, LC0* lette nel blocco 61.

Viene quindi determinata l'ampiezza dello specifico campione S_1 della quarta sequenza intermedia di campioni S_2 avente valore di identificazione *NORDi* pari al valore di riferimento *R* aumentato di una unità (ossia avente *NORDi=R+1*) (blocco 66).

Successivamente vengono modificate le ampiezze dei campioni della quarta sequenza intermedia di campioni S_2 aventi valori di identificazione *NORDi* inferiori al

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

valore di riferimento R aumentato di una unità (ossia aventi $NORDi<R+1$) e pertanto aventi, secondo la suddetta legge di assegnazione, ampiezza maggiore dell'ampiezza del campione S_i. In particolare, le ampiezze di tali campioni vengono modificate uguagliandole all'ampiezza del campione S_i sopra determinato (blocco 67), ottenendo così una quinta sequenza intermedia di campioni S_3 definente uno spettro in frequenza modificato, come mostrato in figura 10. Lo spettro di figura 10 è ottenuto nel caso in cui il valore di riferimento R sia pari a 4 e quindi le ampiezze dei campioni aventi $NORDi=1,2,3,4$ vengono uguagliate all'ampiezza del campione S_i con $NORDi$ pari a 5.

La modifica delle ampiezze di tali campioni deve essere effettuata senza alterare la loro fase e ciò è ottenuto o riducendo di quantità percentualmente uguali la parte reale e la parte immaginaria di ciascuno dei numeri complessi rappresentanti tali campioni o esprimendo i campioni stessi in una rappresentazione polare mediante vettori bidimensionali costituiti, ciascuno, dal modulo (ampiezza) e dalla fase del campione, e quindi riducendo unicamente il modulo di ciascun vettore.

Successivamente, viene calcolata l'antitrasformata di Fourier veloce dello spettro modificato (IFFT-Inverse

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

Fast Fourier Transform), preferibilmente utilizzando il processore matematico 154, ottenendo la suddetta sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$ (blocco 68).

Viene quindi calcolato il valore medio $\overline{ET_{J,K}}$ (blocco 69) e la deviazione standard σ (blocco 70) della sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$.

Viene quindi calcolato (blocco 71) il momento di ordine sesto *M6A* della sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$ secondo la seguente equazione:

$$M6A = \frac{\sum_{i=1}^{NJ}\left[ET_{J,K}(i) - \overline{ET_{J,K}}\right]^6}{NJ \cdot \sigma^6} \qquad 1)$$

in cui *NJ* è pari, come sopra detto, a 1024.

Il momento di ordine sesto *M6A* della sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$ è utilizzato per avere indicazioni sulla dispersione intorno al valor medio dei valori assunti da tale sequenza; in particolare, il momento di ordine sesto dà maggior peso ai punti più distanti dal valor medio rispetto al peso ad essi assegnato dal momento di ordine 2 (varianza) e pertanto è particolarmente utile per rilevare difetti di un ingranaggio, ad esempio per rilevare una cricca sui denti dell'ingranaggio, in quanto consente di dare maggiormente peso ad anomalie localizzate. Infatti, in tal caso, il relativo sensore genera impulsi di ampiezza

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

elevata ma di durata assai breve e il calcolo di un momento di ordine sesto consente di identificare in modo significativo il contributo di tali impulsi.

Come precedentemente detto, le operazioni descritte nei blocchi 26-32 di fig. 3 vengono ripetute sei volte (ossia finché il valore del contatore di ripetizioni *S* è minore di *STH*) modificando opportunamente la suddivisione dei campioni in gruppi in base al valore del contatore di ripetizioni *S* stesso. In particolare, alla prima esecuzione delle operazioni descritte nei blocchi 26-32 (in cui S=0) il primo gruppo di campioni viene formato a partire dal primo campione della sequenza iniziale ed i gruppi successivi vengono formati di conseguenza nel modo precedentemente descritto, mentre ad ogni successiva esecuzione delle operazioni descritte nei blocchi 26-32 il campione iniziale di ciascun gruppo di campioni viene "traslato" di 548 campioni rispetto all'esecuzione precedente, ossia i gruppi di campioni vengono formati a partire da rispettivi primi campioni aventi, all'interno della sequenza iniziale, posizione "traslata" di 548 campioni rispetto all'esecuzione precedente.

Pertanto, il primo gruppo di campioni viene di volta in volta formato a partire dal campione W=1+548*S e i gruppi successivi vengono traslati di conseguenza.

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

Per ciascuna esecuzione viene poi calcolato un rispettivo momento di ordine sesto *M6A* che viene confrontato con i valori di soglia *TH1* e *TH2*.

Convenientemente, la fase di confronto con le soglie e generazione di allarme secondo il blocco 30 di fig. 3 viene eseguita come descritto qui di seguito con riferimento alla fig. 6.

In dettaglio, inizialmente il momento di ordine sesto *M6A* viene confrontato con la prima soglia *TH1*, blocco 80; se *M6A<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 80), l'evento viene memorizzato nella memoria eventi 153 (blocco 82) e *M6A* viene confrontato con la seconda soglia *TH2* (blocco 84). Se *M6A<TH2* (uscita SI dal blocco 84), 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 86), e viene proseguito il monitoraggio su un successivo gruppo di campioni, ritornando al blocco 21 di fig. 3; viceversa (uscita NO dal blocco 84), l'evento viene memorizzato nella memoria eventi 153 (blocco 88) e viene verificato il valore

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

della variabile *F* (blocco 90). In particolare, se la variabile *F* presenta il primo valore prefissato (uscita SI), *F* viene settata ad un secondo valore prefissato, ad esempio 1, (blocco 92), 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 90), viene generato un segnale di allarme per il pilota (blocco 94), la variabile *F* viene nuovamente settata al primo valore prefissato (blocco 96), e si riprende quindi il monitoraggio sui successivi campioni, tornando al blocco 21 di fig. 3.

Un metodo di sorveglianza simile a quello sopra descritto con riferimento alle figure 3-6 può essere utilizzato per migliorare la "visibilità" delle irregolarità vibrazionali anche nel solare 124 del riduttore epicicloidale 122.

Per quanto riguarda la sorveglianza del solare 124, come illustrato in fig. 11, il metodo comprende, analogamente a quanto descritto per il metodo di sorveglianza dei sei satelliti 123, l'inizializzazione della variabile *F* (blocco 200), l'inizializzazione a 0 del contatore di ripetizioni *S* (blocco 201) e

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

l'acquisizione del segnale $s(t)$ e $s1(t)$ (blocco 202).

Seguono il calcolo della frequenza FS di campionamento specifica per il solare 124 (blocco 203), il campionamento del segnale $s(t)$ alla frequenza FS, ottenendo così la sequenza iniziale di campioni $T_1(i)$ (blocco 204), e la memorizzazione nella memoria dati 152 dei campioni $T_1(i)$ (blocco 205).

Successivamente, i campioni $T_1(i)$ della sequenza iniziale vengono suddivisi in gruppi formati da NJ campioni $T_1(i)$ con NJ=256 (blocco 206) (a differenza di quanto descritto per i satelliti 123 in cui è NJ=1024) e su tali gruppi di campioni viene eseguita una prima operazione di filtraggio (blocco 207) che è molto simile a quella descritta con riferimento alla fig. 4 ma differisce da questa unicamente per il fatto che ad ogni rivoluzione viene acquisito, oltre al gruppo di campioni (256 campioni) avente posizione N_1, anche il gruppo di campioni immediatamente successivo, in modo tale da acquisire in totale 512 campioni ad ogni rivoluzione. In questo caso, pertanto, con la prima operazione di filtraggio si ottiene una prima sequenza intermedia di campioni $T_{1m}(i)$ composta da 512 campioni.

Viene quindi effettuata una elaborazione della prima sequenza intermedia di campioni $T_{1m}(i)$ analoga all'elaborazione descritta precedentemente con

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

riferimento alla fig. 5, ottenendo una seconda sequenza intermedia di campioni $T_k(i)$ (blocco 209), della quale però non viene immediatamente calcolato il momento di ordine sesto *M6A*.

Infatti, sulla seconda sequenza intermedia di campioni $T_k(i)$ viene eseguita una seconda operazione di filtraggio, sotto descritta, ottenendo così una sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$ della quale viene calcolato il momento di ordine sesto *M6A* secondo l'equazione 1) (blocco 210).

Analogamente al metodo sopra descritto con riferimento alla figura 3, il momento di ordine sesto *M6A* viene quindi confrontato con le soglie *TH1* e *TH2* (blocco 211).

In particolare, la seconda operazione di filtraggio prevede di filtrare i campioni $T_{km}(i)$ della seconda sequenza intermedia mediante una finestra temporale $F(t)$ del tipo illustrata in figura 12, ossia avente equazione:

$$F(t)=\begin{cases} sin(t)/2 & (con\ -\pi/2 \le t \le \pi/2) \quad per\ i\ primi\ 80\ campioni \\ 1 & \quad per\ i\ 352\ campioni\ centrali \\ sin(t)/2 & (con\ \pi/2 \le t \le 3\pi/2) \quad per\ gli\ ultimi\ 80\ campioni \end{cases}$$

Anche per il solare 124, il contatore di ripetizioni *S* viene incrementato di una unità (blocco 212) ed il suo valore viene confrontato con il valore di soglia *STH*, con *STH*=8, (blocco 213) in modo tale da

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

eseguire per otto volte le operazioni descritte nei blocchi 206-213.

Analogamente a quanto descritto precedentemente, anche in tale metodo ad ogni esecuzione delle operazioni descritte nei blocchi 206-213 il campione iniziale di ciascun gruppo viene "traslato" rispetto all'esecuzione precedente, ma a differenza di quanto sopra detto, in tal caso la traslazione è di 285 campioni.

Il metodo descritto presenta i seguenti vantaggi. In primo luogo il calcolo del momento di ordine sesto *M6A* consente di diagnosticare anomalie localizzate, ad esempio cricche in parti del riduttore epicicloidale 122 particolarmente sollecitate, che possono portare in tempi più o meno lunghi alla rottura del riduttore stesso.

Inoltre, il metodo consente di discriminare le componenti utili per il monitoraggio dal rumore casuale e dovuto al movimento relativo dei satelliti o alla vicinanza di altri organi in movimento.

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 epicicloidale 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) campionare detto segnale (s(t)) ad una frequenza di campionamento (*FS*), ottenendo una sequenza iniziale di campioni ($T_I(i)$);

c) suddividere i campioni ($T_I(i)$) di detta sequenza iniziale in gruppi formati ciascuno da un numero prefissato (*NJ*) di campioni, detti gruppi di campioni essendo disposti tra loro in successione ed avendo una propria posizione in detta successione;

d) acquisire gruppi di campioni prefissati; e

e) elaborare detti gruppi di campioni prefissati per ottenere una sequenza finale di campioni ($ET_{J,K}(i)$).

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre le fasi di:

f) calcolare un momento di ordine sesto (*M6A*) di detta sequenza finale di campioni ($ET_{J,K}(i)$); e

g) confrontare detto momento di ordine sesto (*M6A*) con almeno una prima soglia prefissata (*TH1, TH2*).

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

3. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta fase e) comprende le fasi di:

h) filtrare detti gruppi di campioni prefissati, ottenendo una prima serie di campioni ($T_f(i)$); e

i) elaborare detta prima serie di campioni ($T_f(i)$) per ottenere detta sequenza finale di campioni ($ET_{J,K}(i)$).

4. Metodo secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detta fase i) comprende le fasi di:

j) calcolare una trasformata nel dominio delle frequenze di detta prima serie intermedia di campioni ($T_{Im}(i)$) ottenendo una prima pluralità di campioni (S_1), ciascuno di detti campioni avendo una propria ampiezza ed una propria frequenza;

k) acquisire una prima ed una seconda frequenza di riferimento (*HC0, LC0*);

l) modificare le ampiezze di primi campioni di detta prima pluralità di campioni (S_1) aventi frequenze presentanti una prima relazione prefissata con dette prime e seconda frequenza di riferimento (*HC0, LC0*), ottenendo una seconda pluralità di campioni (S_2);

m) associare a ciascun campione di detta seconda pluralità di campioni (S_2) un rispettivo valore di

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

identificazione (*NORDi*) secondo una legge di assegnazione prefissata;

n) acquisire un valore di riferimento (*R*); e

o) modificare le ampiezze di secondi campioni di detta seconda pluralità di campioni (S_2) aventi valori di identificazione (*NORDi*) presentanti una seconda relazione prefissata con detto valore di riferimento (*R*), ottenendo una terza pluralità di campioni (S_3).

5. Metodo secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta trasformata è la trasformata di Fourier.

6. Metodo secondo la rivendicazione 4 o 5, caratterizzato dal fatto che detta fase l) comprende le fasi di:

p) porre a zero le ampiezze dei campioni di detta prima pluralità di campioni (S_1) aventi frequenza minore di detta prima frequenza di riferimento (*HC0*); e

q) porre a zero le ampiezze dei campioni di detta prima pluralità di campioni (S_1) aventi frequenza maggiore di detta seconda frequenza di riferimento (*LC0*).

7. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 4 a 6, caratterizzato dal fatto che detta fase m) comprende la fase di:

r) identificare detti campioni di detta seconda

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

pluralità di campioni (S_2) secondo un ordine di ampiezza decrescente, in cui detti valori di identificazione (*NORDi*) sono valori interi e a ciascun detto campione di detta seconda pluralità di campioni (S_2), a partire da un campione di ampiezza maggiore, viene associato un rispettivo detto valore di identificazione (*NORDi*) di valore crescente a partire da un valore prefissato.

8. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 4 a 7, caratterizzato dal fatto che detta fase o) comprende le fasi di:

s) determinare l'ampiezza di un campione di riferimento di detta seconda pluralità di campioni (S_2) avente valore di identificazione (*NORDi*) presentante una terza relazione prefissata con detto valore di riferimento (R); e

t) alterare le ampiezze di detti secondi campioni di detta seconda pluralità di campioni (S_2) in base a detta ampiezza di detto campione di riferimento.

9. Metodo secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detta fase s) comprende la fase di:

u) individuare detto campione di riferimento di detta seconda pluralità di campioni (S_2) avente valore di identificazione (*NORDi*) pari a detto valore di

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

riferimento (R) aumentato di una quantità prefissata.

10. Metodo secondo la rivendicazione 8 o 9, caratterizzato dal fatto che detti secondi campioni di detta sequenza intermedia di campioni (S_2) presentano valore di identificazione ($NORDi$) minore del valore di identificazione ($NORDi$) di detto campione di riferimento e dal fatto che detta fase t) comprende le fasi di:

v) uguagliare le ampiezze di detti secondi campioni all'ampiezza di detto campione di riferimento, ottenendo detta terza pluralità di campioni (S_3).

11. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 4 a 10, caratterizzato dal fatto di comprendere la fase di calcolare un momento di ordine sesto ($M6A$) di detta sequenza finale di campioni ($ET_{J,K}(i)$), detta fase di calcolare un momento di ordine sesto ($M6A$) includendo le fasi di:

x) calcolare una antitrasformata nel dominio del tempo di detta terza pluralità di campioni (S_3), ottenendo detta sequenza finale di campioni ($ET_{J,K}(i)$);

y) calcolare il valore medio $\overline{ET_{J,K}(i)}$ di detta sequenza finale di campioni ($ET_{J,K}(i)$);

w) calcolare la deviazione standard (σ) di detta sequenza finale di campioni ($ET_{J,K}(i)$); e

z) calcolare detto momento di ordine sesto ($M6A$) utilizzando l'equazione:

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

$$M6A = \frac{\sum_{i=1}^{N_J}\left[ET_{J,K}(i) - \overline{ET_{J,K}(i)}\right]^6}{NJ \cdot \sigma^6}$$

in cui *M6A* è detto momento di ordine sesto, $ET_{J,K}(i)$ è detta sequenza finale di campioni, *NJ* è detto numero di campioni di detta sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$, $\overline{ET_{J,K}(i)}$ è detto valore medio di detta sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$, e σ è detta deviazione standard di detta sequenza finale di campioni $ET_{J,K}(i)$.

12. Metodo secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che detta antitrasformata è l'antitrasformata di Fourier.

13. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 3 a 12, caratterizzato dal fatto che detta fase h) comprende le fasi di:

h1) effettuare una prima operazione di filtraggio di detti gruppi di campioni prefissati, ottenendo una seconda serie di campioni ($T_{1m}(i)$); e

h2) effettuare una seconda operazione di filtraggio di detta seconda serie di campioni ($T_{1m}(i)$), ottenendo detta prima serie di campioni ($T_F(i)$).

14. Metodo secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che detta fase h1) comprende le fasi di:

h11) acquisire almeno alcuni di detti gruppi di campioni prefissati ($T_1(i)$); e

CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 426/BM)

h12) calcolare una serie temporale mediata, definente detta seconda serie di campioni ($T_{lm}(i)$), secondo la relazione:

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

in cui $T_r(i)$ sono detti gruppi di campioni acquisiti nella fase h11) e l è un contatore del numero di gruppi di campioni acquisiti.

15. Metodo secondo la rivendicazione 13 o 14, caratterizzato dal fatto che detta fase h2) comprende la fase di:

h21) moltiplicare detta seconda serie di campioni ($T_{lm}(i)$) per un funzione ($F(t)$) avente una porzione centrale costante e porzioni laterali decrescenti a partire da detta porzione centrale.

16. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta fase d) comprende le fasi di:

d1) acquisire una sequenza di numeri di identificazione (N_1-N_n) rappresentanti la posizione di un rispettivo gruppo di campioni all'interno di detta successione di gruppi di campioni; e

d2) identificare gruppi di campioni in detta successione di gruppi di campioni aventi posizioni

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

corrispondenti a detti numeri di identificazione (N_1-N_n); e

d3) acquisire detti gruppi di campioni identificati.

17. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di eseguire le fasi da c) a e) per un numero prefissato (*STH*) di volte.

18. Metodo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che ad ogni esecuzione delle fasi da c) a e) il campione iniziale di ciascun gruppo viene traslato di un numero prefissato di campioni rispetto all'esecuzione precedente.

19. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta fase di confrontare detto momento di ordine sesto (*M6A*) comprende inoltre la fase di confrontare detto momento di ordine sesto (*M6A*) con una seconda soglia (*TH1, TH2*).

20. Metodo di sorveglianza di un gruppo epicicloidale 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

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.
CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

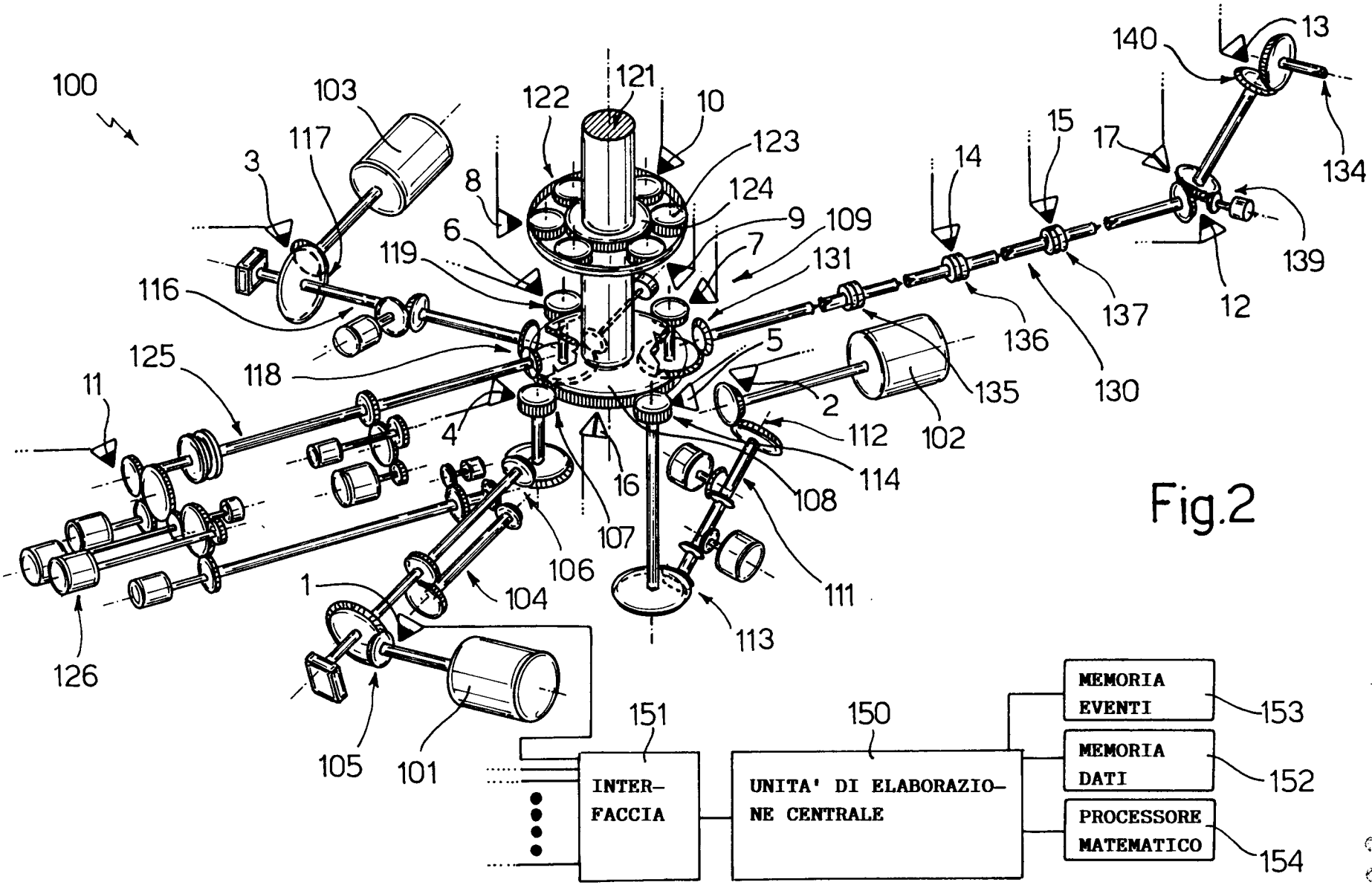


Fig.2

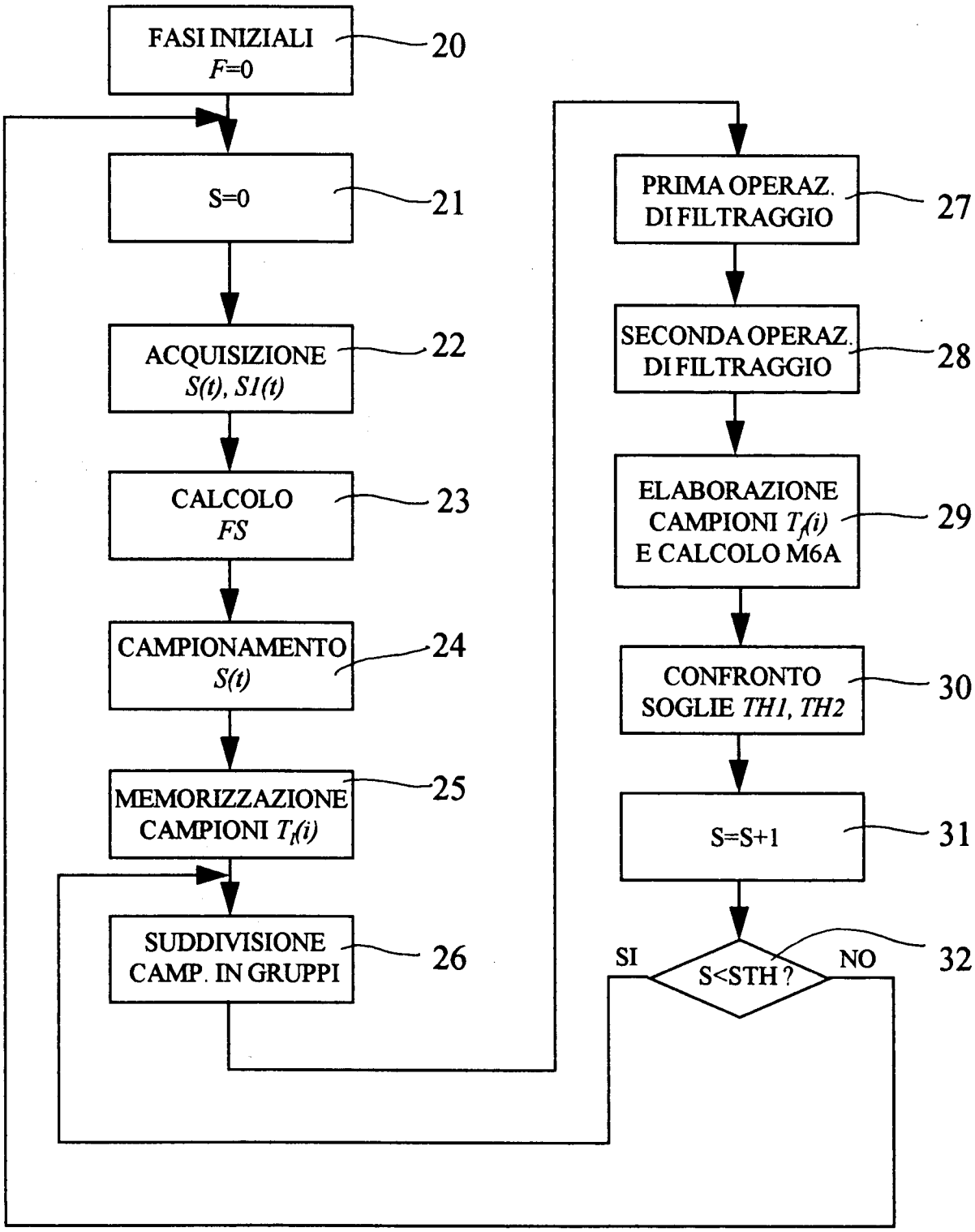
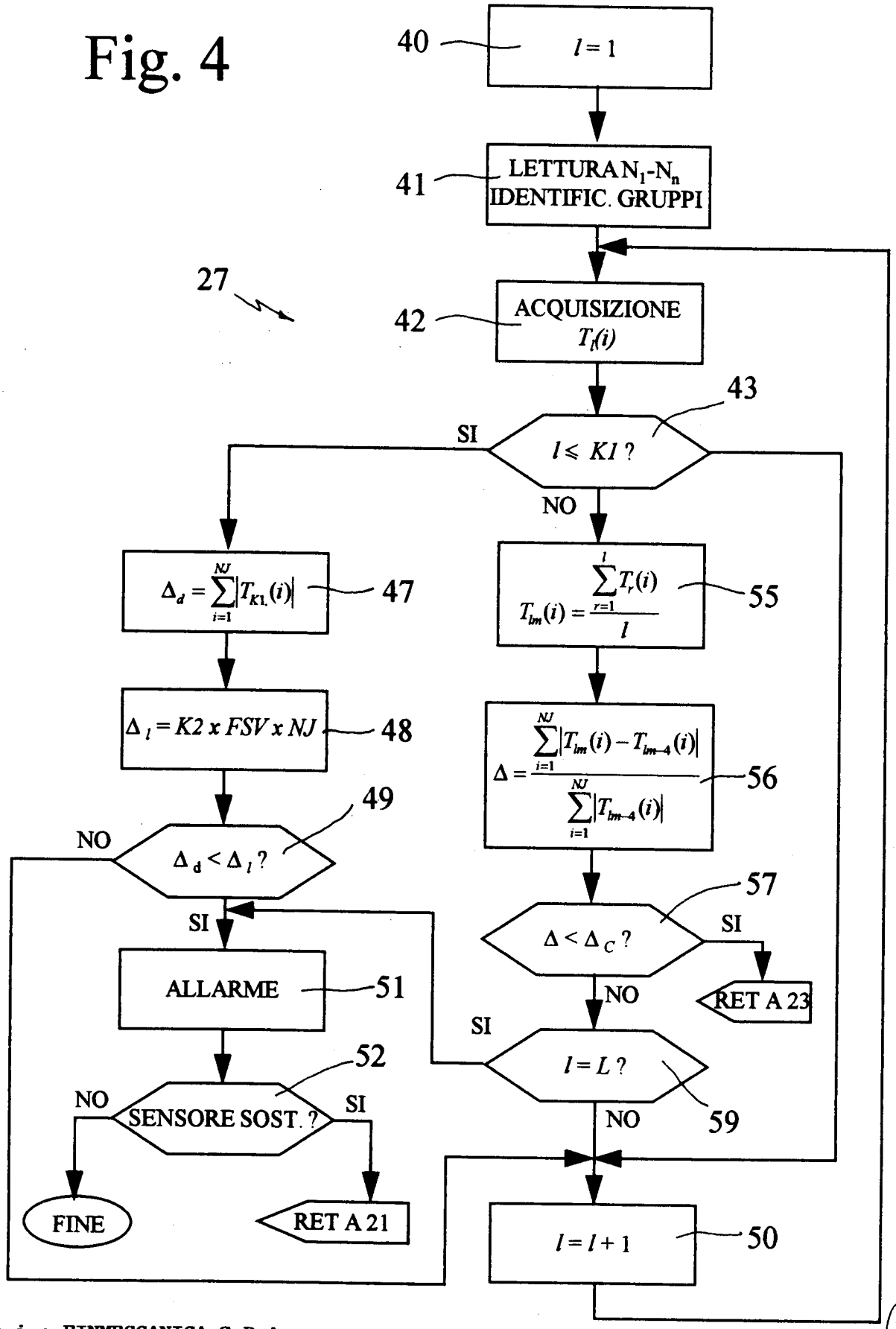


Fig. 3

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.
CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

Fig. 4



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

CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

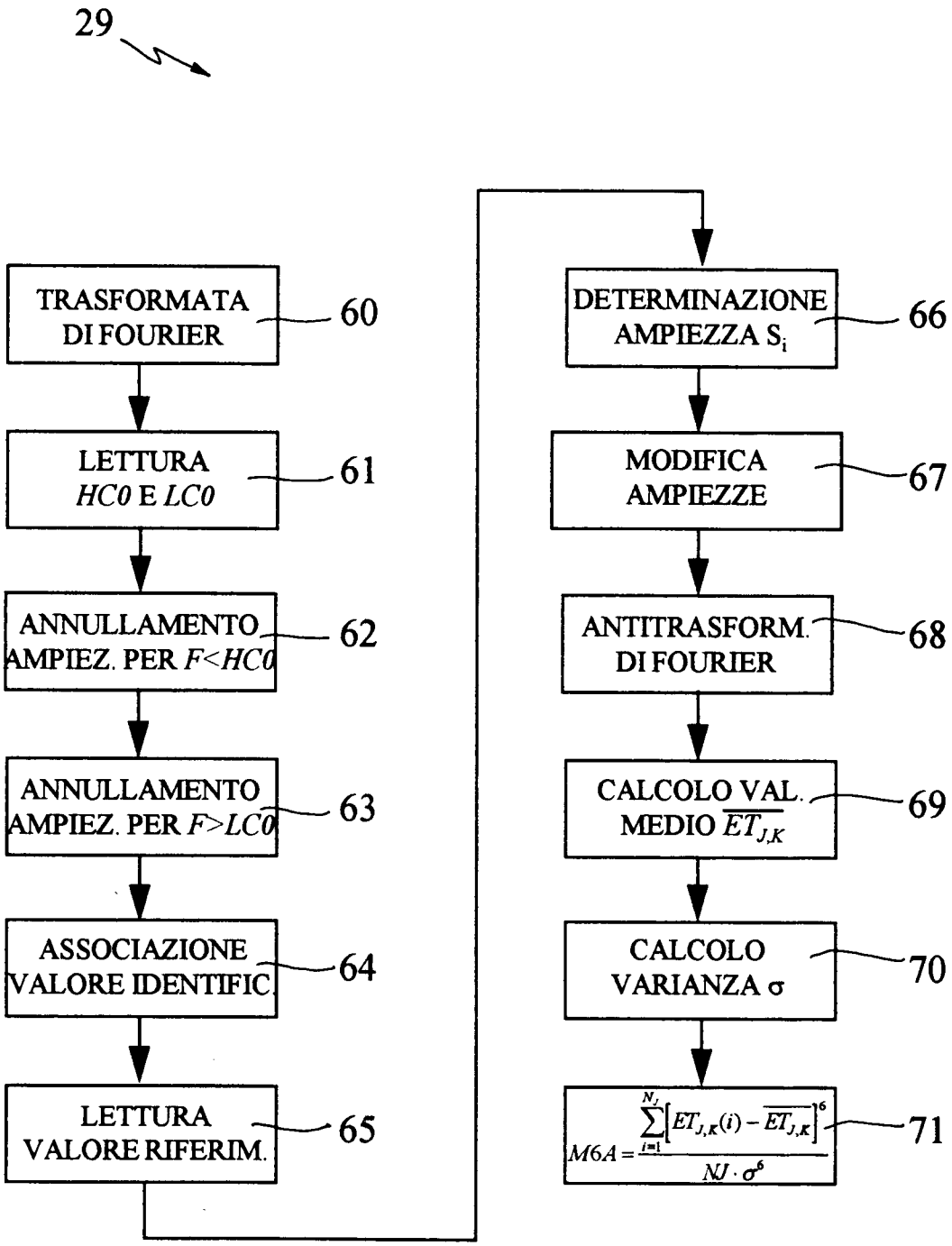


Fig. 5

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.
CERBARO Elena
iscrizione Albo nr 426/BM

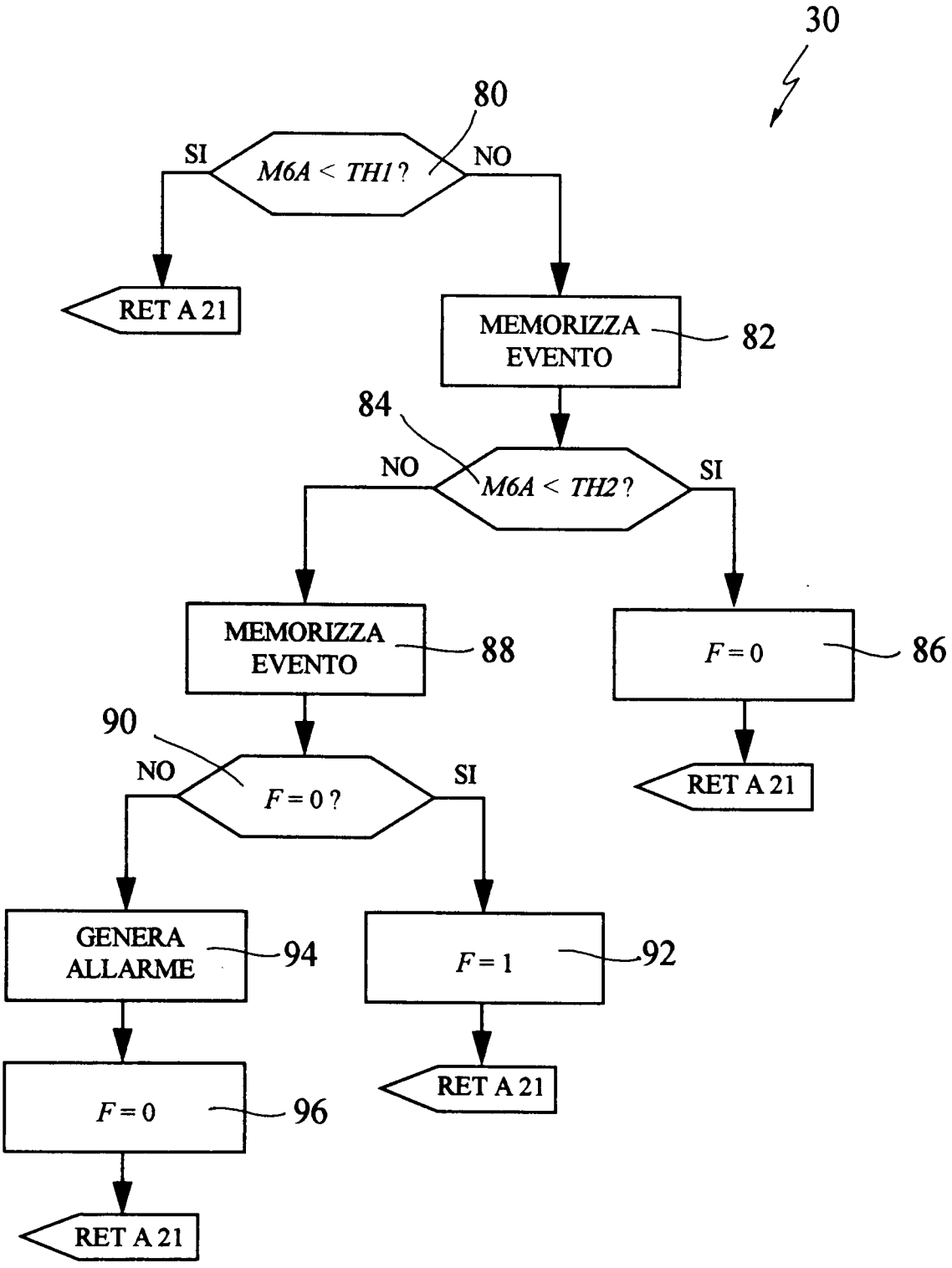
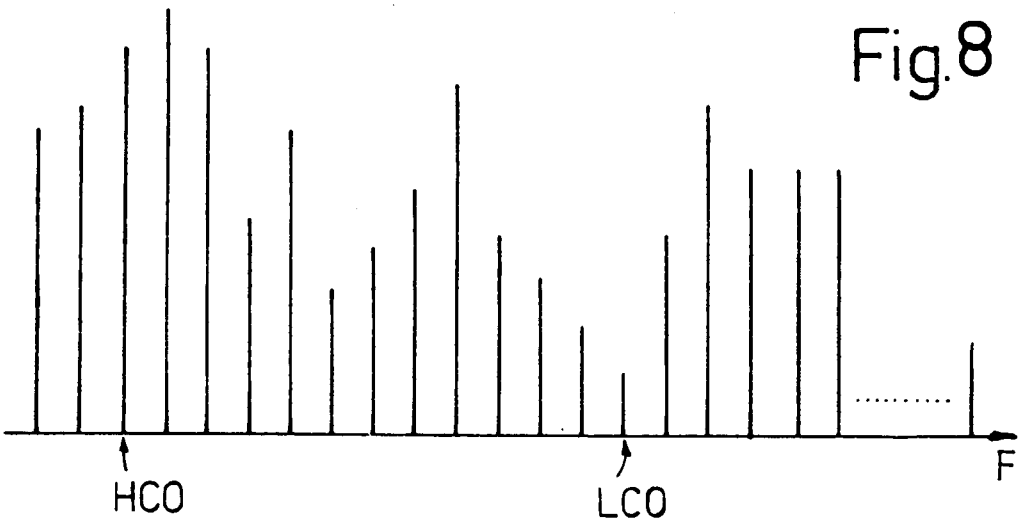


Fig. 6

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.
CERBARO Elena
iscrizione Albo nr 426/BM

Fig.8



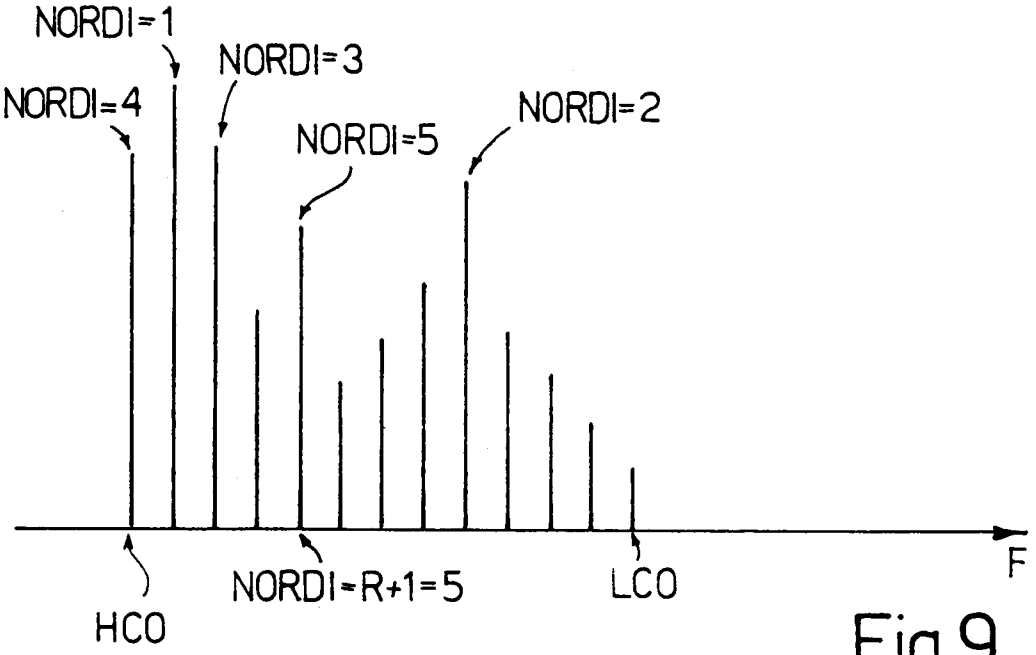


Fig.9

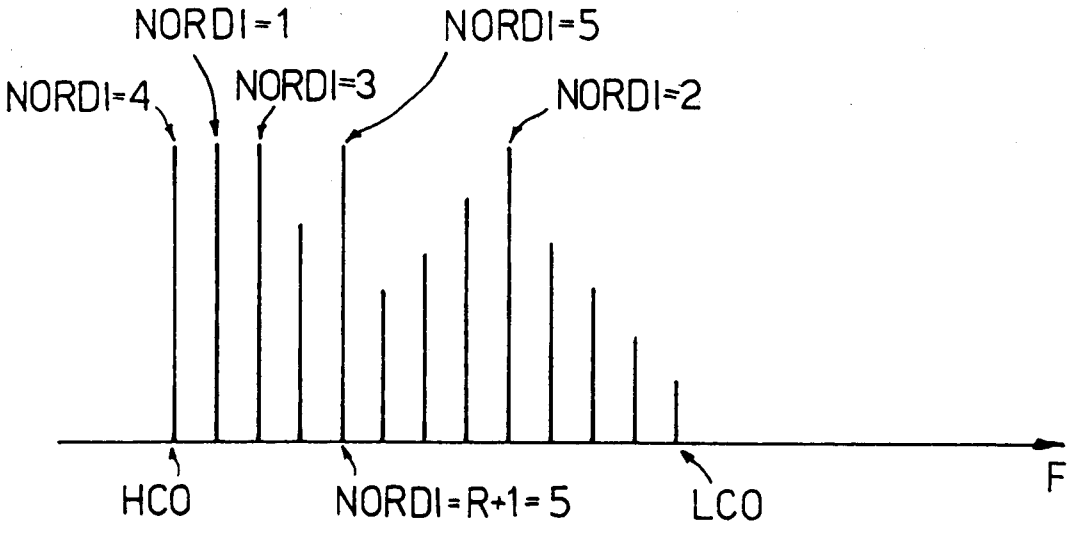


Fig. 10

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.
CERBARO Elena
(iscrizione Albo nr 420/BM)

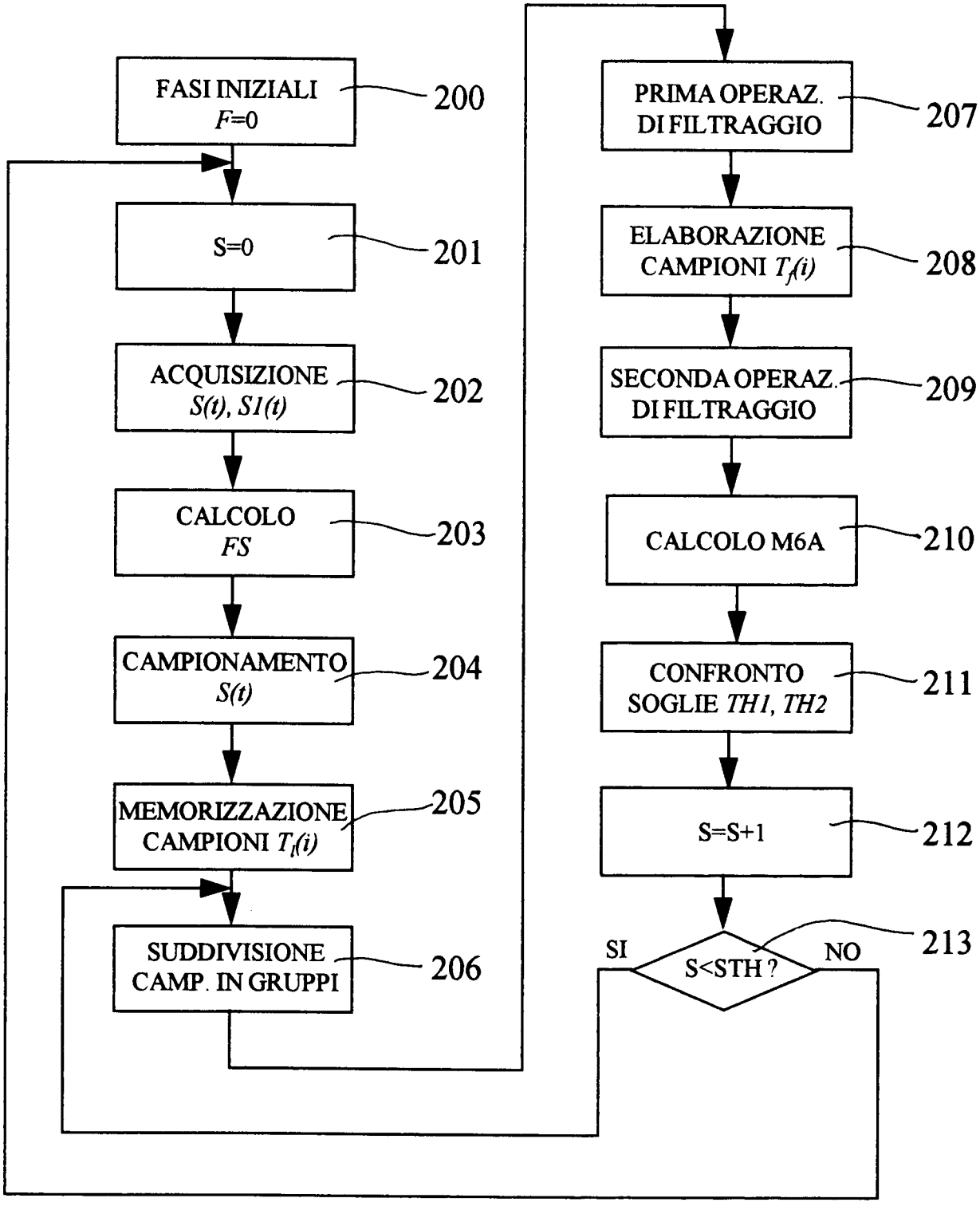


Fig. 11

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.
CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM

Fig.7

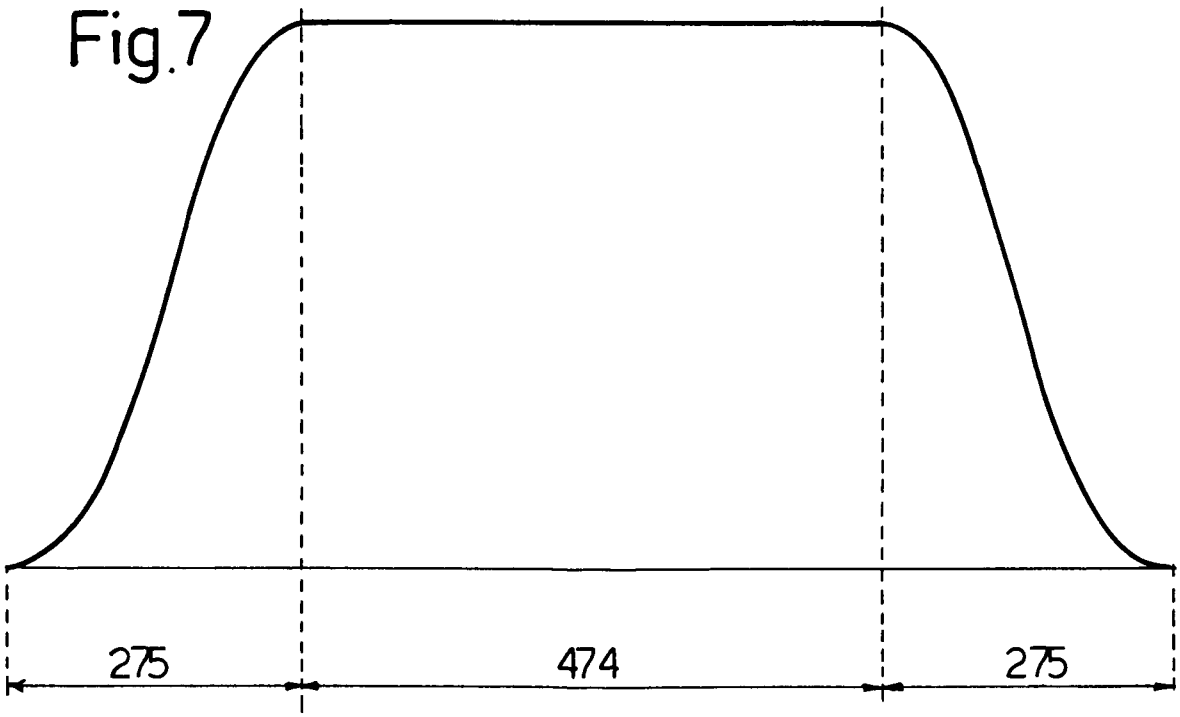
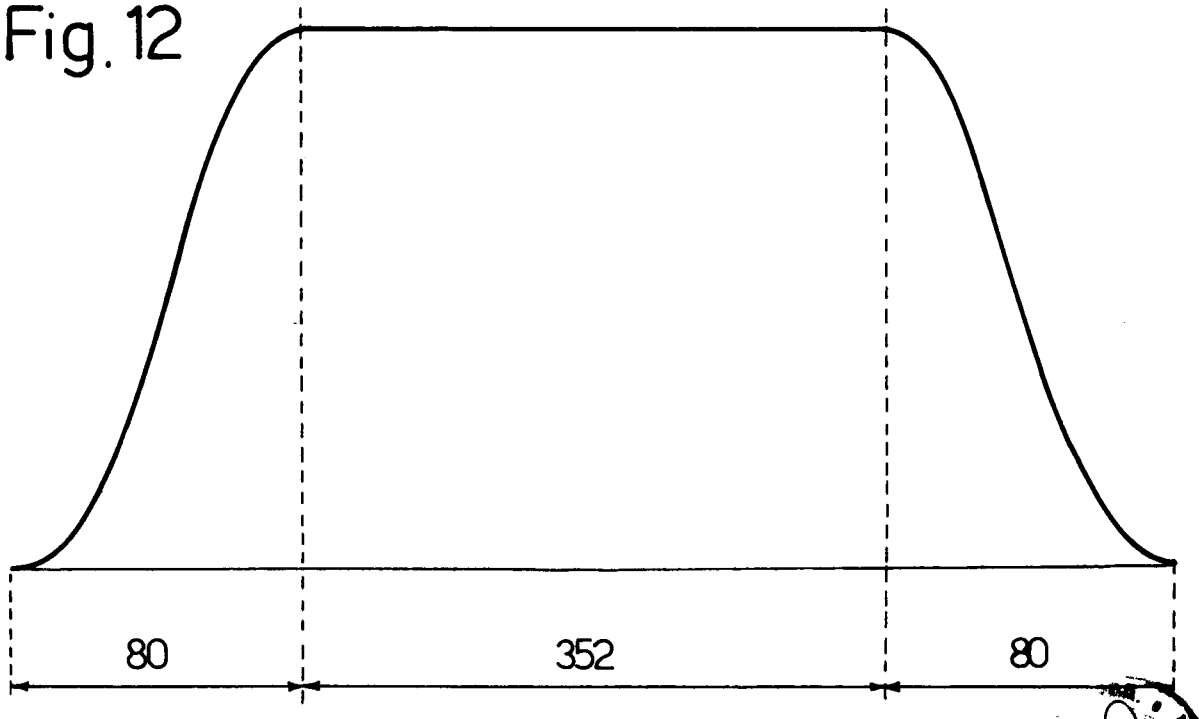


Fig.12



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

CERBARO Elena

Iscrizione Albo nr 426/BM

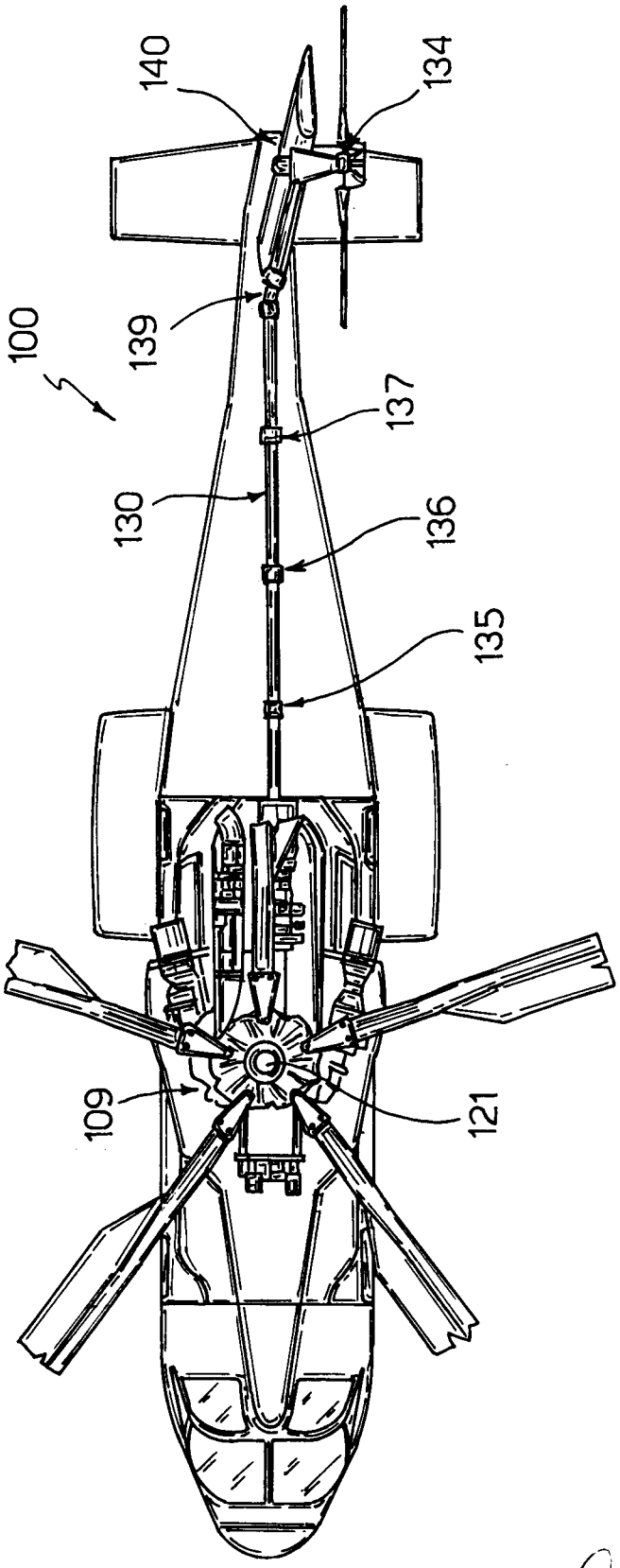


Fig.1

p.i.: FINMECCANICA S.P.A.
CERBARO Elena
Iscrizione Albo nr 426/BM