



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

UTBM

DOMANDA NUMERO	101997900615562
Data Deposito	31/07/1997
Data Pubblicazione	31/01/1999

Titolo

**METODO DI VALUTAZIONE DELL'ATTENDIBILITA' DI UN'ANALISI DI TENDENZA
EFFETTUATA MEDIANTE LA TECNICA DI KRIGING SU DI UNA GRANDEZZA OPERATIVA DI
UN MACCHINARIO INDICATIVA DELLA PRESENZA DI DIFETTI NEL CHINARIO STESSO**

D E S C R I Z I O N E

del brevetto per invenzione industriale

di FINMECCANICA S.P.A. AZIENDA ANSALDO

di nazionalità italiana,

con sede a 16128 GENOVA, PIAZZA CARIGNANO, 2

Inventori: MAZZIERI Claudio, LUCIFREDI Aleramo,

ROSSI Massimiliano

*** ***** TO 97A 000688

La presente invenzione è relativa ad un metodo di valutazione dell'attendibilità di un'analisi di tendenza effettuata mediante la tecnica di Kriging su di una grandezza operativa di un macchinario indicativa della presenza di difetti nel macchinario stesso.

In particolare, la descrizione che segue farà riferimento, senza per questo perdere in generalità, alla valutazione dell'attendibilità di un'analisi di tendenza effettuata mediante la tecnica di Kriging sulle vibrazioni di un macchinario rotante per impianti elettrici di potenza.

In generale, comunque, il metodo di Kriging può essere utilizzato in tutti quei casi in cui una grandezza statistica e/o dinamica può essere espressa come funzione di un certo numero di grandezze indipendenti rappresentate da parametri operativi del macchinario (ad esempio potenza attiva, potenza

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/8M

reattiva, temperatura del macchinario, pressione, ecc.).

Ad esempio, il metodo di Kriging può essere anche utilizzato per avere informazioni sullo stato di isolamento del macchinario attraverso il monitoraggio delle scariche parziali che in esso avvengono.

Come è noto, il comportamento vibrazionale dei macchinari del tipo sopra accennato deve essere costantemente monitorato lungo la loro linea d'assi, preferibilmente in corrispondenza dei cuscinetti ed in particolari zone critiche, come ad esempio le testate delle bobine elettriche del generatore, al fine di verificare la presenza di malfunzionamenti e/o difetti e di seguire la loro evoluzione nel tempo.

Il comportamento vibrazionale di una macchina è dato sostanzialmente dal contributo di due termini: un primo determinato dalle condizioni operative di impianto, ed un secondo contributo determinato da malfunzionamenti e/o difetti, il quale, per un macchinario operante in condizioni ottimali, è nullo o comunque trascurabile.

Obiettivo di qualsiasi analisi di tendenza è la valutazione dello scostamento fra il valore misurato della grandezza sorvegliata ed il suo valore atteso, allo scopo di identificare per tempo malfunzionamenti e/o difetti.

La variabilità delle condizioni operative del macchinario introduce una naturale variabilità nelle vibrazioni misurate con possibile effetto di schermatura nei confronti di variazioni introdotte da difetti e/o malfunzionamenti; pertanto le tecniche di analisi predittiva devono essere in grado di discriminare le variazioni correlate a condizioni operative dalle altre.

Le tecniche normalmente più utilizzate per l'analisi di tendenza sono sostanzialmente tre:

- la prima tecnica nota consiste sostanzialmente in una ripartizione delle condizioni operative in campi predefiniti, nella definizione dei livelli di vibrazione accettabili nei diversi campi operativi, nel rilievo delle vibrazioni e dei parametri rappresentativi delle condizioni operative e nella sorveglianza nel tempo per verificare l'andamento delle vibrazioni. Non viene valutato uno scostamento fra valore atteso e valore misurato ma l'identificazione di un potenziale difetto si basa sostanzialmente sull'incremento del valore misurato della grandezza monitorata; il range di variabilità assegnato alla vibrazione è piuttosto ampio per tener conto delle incertezze e potrebbe non consentire una precoce identificazione del potenziale difetto;

- la seconda tecnica nota consiste sostanzialmente

in una definizione di un modello matematico di tipo multiregressivo (in genere lineare) che consenta di stimare il livello di vibrazioni con un elevato livello di confidenza. La messa a punto del modello richiede un numero significativamente alto di misure per ottenere un elevato grado di confidenza statistica. Va poi tenuto presente che in genere si preferisce suddividere il campo di condizioni operative in campi più ristretti ed operare con più modelli multiregressivi; e

- la terza tecnica nota consiste sostanzialmente nell'utilizzo di reti neurali e tale approccio richiede la disponibilità di una significativa base dati che interessi tutto il campo operativo della macchina nella fase di apprendimento allo scopo di identificare il modello con elevato grado di confidenza statistica.

Tutte le tecniche citate presentano tuttavia inconvenienti legati alla fase di messa in servizio e di utilizzo, ed in particolare dovuti, per la prima tecnica descritta, alla ripartizione delle condizioni operative in sottoinsiemi, alla definizione del livello di vibrazione accettabile ed all'empirismo nell'esecuzione dell'analisi di tendenza e, per le altre tecniche descritte, alla necessità di disporre di un'ampia base di dati validi (ottenuti con macchina esente da difetti/malfunzionamenti) per l'identificazione, la

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BMI

verifica e/o l'apprendimento del modello analitico.

Operazioni di manutenzione del macchinario coinvolgenti componenti in grado di influenzare la grandezza sorvegliata comportano la ricostituzione, almeno parziale, della base dati di riferimento prima di riprendere la sorveglianza continua.

Va inoltre tenuto presente che in talune applicazioni alcuni parametri operativi variano con cadenza stagionale (estate/inverno) o con periodicità legata ad eventi naturali (es. livello di invaso di un serbatoio alimentante il gruppo di generazione idroelettrica) per cui l'ottenimento della base dei dati di riferimento richiede tempi lunghi.

Per l'esecuzione delle suddette analisi di tendenza è stata inoltre recentemente utilizzata anche la tecnica di Kriging, una cui trattazione completa è riportata ad esempio nel testo "Mining Geostatistics", di A.G. Journel e CH. J. Huijbregts, edito da Academic Press, Londra, 1978, e nel testo "Krigage et Splines en Cartographie Automatique - Application à des Exemples Pétroliers", di O. Dubrule, Tesi di Dottorato di Ricerca, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1981.

Le principali caratteristiche della tecnica di Kriging possono riassumersi in:

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BMJ

- utilizzo di una tecnica modificata di regressione lineare;

- stima (predizione) del valore in un punto assumendo che sia in relazione (spaziale) con punti noti in una zona circostante il punto di lavoro (condizioni operative della macchina sorvegliata);

- stima (predizione) calcolata mediante somma pesata di valori noti; i pesi sono scelti in modo da minimizzare la varianza dell'errore;

- stima (predizione) basata sulla scelta di una configurazione ristretta dei punti di lavoro della macchina; per ogni nuova stima viene selezionato (automaticamente) un intorno "ristretto" del punto di lavoro; in una certa misura si tiene conto delle non linearità in quanto si effettua una linearizzazione in un intorno ristretto delle condizioni operative correnti;

- valutazione dello scostamento fra valore predetto e valore osservato con conseguente accettazione del valore osservato se lo scostamento rientra in limiti di errore predefiniti e rispondenti a definiti criteri di accettazione.

Il valore corrente osservato, se accettato, viene inserito nella base dati ed in tal modo la base dati di riferimento (rappresentante il punto di partenza per

l'esecuzione di nuove stime) viene incrementata nel tempo.

Se invece l'osservazione non è accettabile, le osservazioni (e stime) successive devono confermare il fenomeno (tendenza a breve termine) per escludere possibili effetti transitori.

I vantaggi della tecnica di Kriging possono riassumersi nei seguenti: non è necessario disporre di una base dati di riferimento per individuare il modello; il modello è immediatamente operativo (disponendo di due misure si può procedere alla stima della terza); il numero di misure necessarie per effettuare la stima è ridotto; le stime vengono effettuate selezionando misure relative a condizioni operative prossime alle condizioni della misura corrente; la stima è accurata e gli errori di misura possono essere tenuti in conto; il modello segue il sistema sorvegliato senza adattarsi ad esso; e consente di attivare immediatamente la sorveglianza di macchine in cui alcuni parametri operativi hanno variabilità stagionale e/o di lungo periodo in quanto la base dati di riferimento viene incrementata nel tempo.

La tecnica di Kriging presenta inoltre ulteriori caratteristiche che possono essere elencate dopo aver chiarificato quali significati assumano in tale tecnica i termini "variabile regionalizzata", "funzione

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BMJ

casuale", "tendenza" (o "deriva"), e "tendenza locale" (o "deriva locale").

In particolare, una variabile Y distribuita in uno spazio K -dimensionale D , definito da X_j con $j=1...K$, è detta regionalizzata ("regionalized variable"- ReV); questa definizione non comprende alcuna interpretazione probabilistica, ma è una funzione che considera un valore in ogni punto dello spazio K -dimensionale D . Una variabile regionalizzata ReV può essere considerata una realizzazione particolare di un insieme di variabili casuali ("random variables") $RVY(D)$; detto insieme è chiamato funzione casuale ("random function"); quest'ultima esprime l'aspetto casuale e funzionale di una variabile regionalizzata.

Inoltre, una variabile regionalizzata (RV) può pensarsi composta di due termini: il primo, noto col nome di "tendenza" o "deriva" (o "drift"), è una funzione delle variabili indipendenti costituenti il dominio (regione di appartenenza) della variabile regionalizzata e rappresenta il valor medio (o atteso) della variabile regionalizzata RV ; il secondo, noto col nome di "residuo", non è funzione delle variabili indipendenti e rappresenta la componente aleatoria della RV (il suo valor medio è nullo).

In particolare, nell'ambito della tecnica di

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BM

Kriging si definisce "tendenza" o "deriva" (o "drift") di una variabile regionalizzata $Y(P)$, con P appartenente ad un dominio D , il valor medio (atteso) della variabile regionalizzata $Y(P)$ nel dominio considerato; prendendo invece in esame un campo molto ristretto nell'intorno di P (sottodominio) si parla di "tendenza locale" o "deriva locale". Il concetto di tendenza (globale o locale) è quindi legato all'estensione dell'intorno del punto P considerato.

Nell'applicazione a cui si riferisce questa descrizione, per la stima del valore corrente della variabile osservata, vengono prese in considerazione solo misure $Y(P_i)$ (accettate) che cadono in un intorno ristretto di P , da qui l'uso del termine "tendenza locale" o "deriva locale".

Si focalizza inoltre l'attenzione sul fatto che nella descrizione che segue i termini "tendenza" o "tendenza locale" ("drift") dei valori assunti dalla grandezza sorvegliata del macchinario ed il termine "analisi di tendenza" ("data trend") dei valori assunti dalla grandezza sorvegliata assumono significati tra loro completamente differenti e quindi non sono in alcun modo da confondere. Infatti, i primi ("tendenza" o "tendenza locale") sono termini tipici della terminologia utilizzata nella tecnica di Kriging ed

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BMJ

assumono i significati matematici ben precisi qui sopra ampiamente descritti, mentre il secondo ("analisi di tendenza") sta unicamente ad indicare un'analisi fra valori osservati e valori stimati in archi temporali più o meno lunghi.

Alla luce delle considerazioni sopra riportate, le ulteriori caratteristiche della tecnica di Kriging possono essere così sintetizzate:

- la stima è effettuata in un intorno ristretto della configurazione dinamica dei punti analizzati, i quali vengono trattati come variabili regionalizzate; queste ultime hanno un aspetto casuale ed irregolare nonché un aspetto strutturale generale richiedenti una certa rappresentazione funzionale. Inoltre, ogni regione è analizzata al fine di determinare una correlazione ed una interdipendenza tra le variabili regionalizzate;

- permette di calcolare le caratteristiche locali e globali dei dati in modo da considerarne la tendenza (media) e/o altre eventuali anomalie nei dati;

- esiste l'"ordinary Kriging" in cui la media o il valore della tendenza dei dati nella regione (dominio) considerata (campo di lavoro) non sono noti, ma sono assunti stazionari in tutto il campo di lavoro considerato;

- esiste l'"universal Kriging" in cui la tendenza

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BMJ

(media) non è nota ma è assunta non stazionaria attraverso la regione (dominio) considerata.

L'utilizzo di tale metodo per la sorveglianza dello stato di funzionamento dei macchinari del tipo sopra descritto ha quindi portato all'esigenza di avere a disposizione un metodo che consenta la valutazione dell'attendibilità delle analisi di tendenza effettuate mediante il metodo di Kriging.

Scopo della presente invenzione è quindi quello di realizzare un metodo di valutazione dell'attendibilità delle stime effettuate con il metodo di Kriging.

Secondo la presente invenzione viene realizzato un metodo di valutazione dell'attendibilità di un'analisi di tendenza effettuata mediante la tecnica di Kriging su di una grandezza operativa di un macchinario indicativa della presenza di difetti nel macchinario stesso, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

a) acquisire un valore corrente di detta grandezza operativa;

b) calcolare un primo valore stimato di detta grandezza operativa mediante detta tecnica di Kriging assumendo che la tendenza locale dei valori assunti da detta grandezza operativa sia lineare;

c) calcolare un primo valore di errore in base a detto valore corrente e a detto primo valore stimato di

detta grandezza operativa;

d) confrontare detto primo valore di errore con almeno un primo valore di soglia prefissato;

e) accettare detto primo valore stimato di detta grandezza operativa qualora detto primo valore di errore presenti una prima relazione prefissata con detto primo valore di soglia prefissato;

f) calcolare un secondo valore stimato di detta grandezza operativa mediante detta tecnica di Kriging assumendo che la tendenza locale dei valori assunti da detta grandezza operativa sia costante qualora detto primo valore di errore non presenti detta prima relazione prefissata con detto primo valore di soglia prefissato;

g) calcolare un secondo valore di errore in base a detto valore corrente e a detto secondo valore stimato di detta grandezza operativa;

h) confrontare detto secondo valore di errore con almeno un secondo valore di soglia prefissato; e

i) accettare detto secondo valore stimato di detta grandezza operativa qualora detto secondo valore di errore presenti una seconda relazione prefissata con detto secondo valore di soglia prefissato.

Per una migliore comprensione della presente invenzione viene ora descritta una forma di

realizzazione preferita, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 illustra uno schema a blocchi relativo ad una prima forma realizzativa del metodo oggetto della presente invenzione; e

- la figura 2 illustra uno schema a blocchi relativo ad una seconda forma realizzativa del metodo oggetto della presente invenzione.

Per descrivere il metodo secondo la presente invenzione occorre innanzitutto descrivere brevemente i principi fondamentali del metodo di Kriging, i quali sono desumibili dalla descrizione completa riportata nei succitati testi.

È importante inizialmente fare alcune osservazioni sui concetti di variabile regionalizzata e di funzione casuale sopra introdotti.

Come precedentemente detto, una variabile regionalizzata ReV può essere considerata una realizzazione particolare di un insieme di variabili casuali chiamato funzione casuale e quest'ultima esprime l'aspetto casuale e funzionale di una variabile regionalizzata.

Localmente, considerando un certo punto P_i dello spazio K -dimensionale D , $Y(P_i)$ è una variabile casuale

ma è anche una funzione casuale perché, per ogni coppia di punti P_i e (P_i+h) i corrispondenti valori $Y(P_i)$ e $Y(P_i+h)$, relativi ad un insieme di variabili regionalizzate RV , non sono indipendenti, ma sono collegati tra loro attraverso una correlazione che esprime la struttura spaziale della variabile regionalizzata $Y(P)$.

La variabilità tra $Y(P)$ ed $Y(P+h)$ è data dalla funzione $2G(P, h)$, così espressa:

$$2 \cdot G(P, h) = E\{[Y(P) - Y(P+h)]^2\}$$

in cui $G(P, h)$ è il variogramma.

Detta variabilità è funzione del punto P e del vettore h .

La stima del variogramma richiede diverse coppie di valori delle variabili casuali $(Y(P); Y(P+h))$; in pratica, è utilizzabile soltanto un limitato numero di coppie di valori e, inoltre, il variogramma dipende dal vettore h e non dalla posizione P ; quest'ultima ipotesi conduce ad una stazionarietà del second'ordine, per la quale possiamo osservare che:

- la probabilità matematica $E[Y(P)]$ esiste e non dipende dal punto P ;
- per ogni coppia di variabili regionalizzate $Y(P)$ ed $Y(P+h)$, la covarianza esiste e dipende dal vettore h ;

• il variogramma e la covarianza sono due strumenti equivalenti atti a caratterizzare l'autocorrelazione tra due variabili;

• la covarianza decresce all'aumentare della distanza h e scompare per grandi valori di h .

DESCRIZIONE DELLA TEORIA

Finalità dell'"ordinary Kriging", caratterizzato da un valore di tendenza (o media) stazionario, è il calcolo di Y [valore non noto di una funzione casuale RV] in una certa posizione P appartenente ad un insieme di punti P_i del dominio D , noti, per i quali è conosciuto il valore di RV , $[Y(P_i)]$. La relazione utilizzata è la seguente:

$$\hat{Y}(P) = \sum W_i \cdot Y_i(P_i)$$

in cui $\hat{Y}(P)$ è il valore stimato, $Y(P_i)$ sono le variabili regionalizzate (valori reali) definite nel dominio K -dimensionale D , W_i sono i pesi (coefficienti che consentono di scrivere l'espressione "pesando" l'influenza dei punti prossimi tra loro).

I pesi ottimali sono ottenuti utilizzando le relazioni seguenti:

$E(Y - \hat{Y}) = 0$: valore medio;

$E[(Y - \hat{Y})^2]$: la varianza dell'errore di stima è un minimo.

Per quanto concerne la prima condizione, osserviamo che nell'"ordinary Kriging" la tendenza è assunta costante nel dominio D e, pertanto, per i pesi \bar{w}_i si ottiene:

$$\sum W_i = 1$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, essa è ottenuta minimizzando l'errore di varianza stimato rappresentato dall'espressione:

$$\sigma^2 = 2 \cdot \sum W_i \cdot K(P_i, P) - K(P, P) - \sum \sum W_i \cdot W_j \cdot K(P_i, P_j)$$

nella quale $K(P_i, P)$ è la covarianza tra i punti; essa è funzione del vettore h , rappresentante la distanza tra i punti e può essere espressa come $K(H_{ip})$ mediante l'equazione:

$$\sum W_i \cdot K(H_{ij}) + C_0 = K(H_{ip})$$

in cui C_0 è il coefficiente di Lagrange del sistema.

In forma di matrice, si ottiene:

$$\begin{vmatrix} K(H_{ij}) & \{1\} \\ \{1\} & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{W_i\} \\ C_0 \end{Bmatrix} = \{K(H_{ip})\}$$

Utilizzando detta equazione è possibile determinare i coefficienti di Lagrange C_0 ed i pesi W_i .

Osserviamo che, essendo nell'"ordinary Kriging" la tendenza locale stazionaria, la media è data solo da C_0

per tutti i punti considerati (C_0 è ricalcolato per ogni punto considerato).

Nell'"universal Kriging" si assume che la tendenza locale esista nei dati; detta tendenza, in corrispondenza del punto P , è espressa dalla formula:

$$m(P) = E[Y(P)] = \sum C_j \cdot F_j(P)$$

dove $m(P)$ è la media, $F_j(P)$ sono le funzioni dello spostamento locale, $C_j = (K+1)$ sono coefficienti incogniti.

La forma più semplice per esprimere la tendenza o deriva è il polinomio del primo ordine (tendenza lineare):

$$m(P) = C_0 + \sum C_j \cdot X_j(P)$$

derivante dalle seguenti condizioni:

$$E[\sum Y(P_i) - C_0 - \sum C_j \cdot X_j(P)] = 0$$

Detta condizione fornisce $(K+1)$ equazioni. Le altre N equazioni sono date dalla condizione di minimo errore di varianza stimato; in forma di matrice:

$$\begin{bmatrix} [K] & [X]^T \\ [X] & [0] \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \{W_j\} \\ \{C\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{Y\} \\ \{X(P)\} \end{Bmatrix}$$

Il significato dei simboli è il seguente:

[K]: matrice di covarianza

$[X]$: matrice delle coordinate del valore misurato nel dominio D ; la prima colonna è 1; è una matrice $(N, K+1)$;

$[X]^T$: trasposta di $[X]$;

$\{W_i\}$: vettori rappresentanti i coefficienti di peso;

$\{C\}$: vettore $[(K+1), 1]$ che esprime le coordinate del punto P nel dominio D ; la prima riga è 1.

La soluzione del sistema composto dalle $(K+1)$ e dalle N equazioni sopraccitate fornisce N coefficienti di peso W_i nonché i $(K+1)$ coefficienti di Lagrange C_j .

È necessario, infine, considerare che i valori $Y(P_i)$ in $X(P_i)$ sono affetti da errore; pertanto, il valore misurato può essere così espresso :

$$Y(P) = Z(P) + \varepsilon(P)$$

in cui $\varepsilon(P)$ ha media zero e non è correlato da un punto dati all'altro e, quindi:

$$E[\varepsilon(P)] = 0$$

$$E[\varepsilon(P_i) \cdot \varepsilon(P_j)] = \sigma \cdot \delta_{ij} \quad (\sigma = \text{varianza ovvero dispersione}).$$

Osserviamo che:

$$\begin{aligned} \delta_{ij} &= 0 && \text{se } i \neq j \\ \delta_{ij} &= 1 && \text{se } i = j. \end{aligned}$$

Il sistema di Kriging definito tenendo conto

dell'errore ε è come quello definito precedentemente, ma la matrice di covarianza include il termine $\sigma \cdot \delta_{ij}$.

KRIGING COME INTERPOLATORE

Per un certo insieme di punti $X(P_i)$ i pesi W_i dipendono da N funzioni rappresentanti la covarianza e da $(K+1)$ coefficienti rappresentanti il piano medio o l'iperpiano a seconda si consideri una tendenza stazionaria o non stazionaria (lineare).

Nel caso in cui si assuma che la tendenza locale dei valori assunti dalla variabile regionale Y sia non stazionaria (lineare), il valore assunto in un certo punto P dalla variabile regionale Y stessa può essere scritto nella forma seguente:

$$Y(P) = C_0 + \sum C_j \cdot X_j + \sum W_i \cdot K(H_{ip}) \quad 1)$$

dove il termine:

$$C_0 + \sum C_j \cdot X_j$$

rappresenta appunto la tendenza locale non stazionaria, ed il termine:

$$K(H_{ip}) = \sum_{m=0}^t (-1)^{m+1} \cdot b_m \cdot |h_{ip}|^{(2m+1)}$$

rappresenta solo la funzione di covarianza generalizzata (in cui t rappresenta l'ordine della tendenza).

Nel caso in cui invece la tendenza locale dei

valori assunti dalla variabile casuale Y sia stazionaria (costante), il valore assunto in un certo punto P dalla variabile casuale Y stessa può essere scritto nella forma seguente:

$$Y(P) = C_0 + \sum W_i \cdot K(H_{ip}) \quad 2)$$

in cui C_0 rappresenta appunto la tendenza locale stazionaria.

Pertanto, riassumendo, nel caso in cui si assuma che la tendenza locale dei valori assunti dalla variabile casuale Y sia non stazionaria, tale tendenza locale viene espressa mediante un polinomio funzione delle variabili indipendenti selezionate X , mentre nel caso in cui si assuma che la tendenza locale dei valori assunti dalla variabile casuale Y sia stazionaria, tale tendenza locale viene espressa mediante un monomio.

Il Kriging è un interpolatore esatto; questo significa che l'interpolatore passa esattamente attraverso i punti $Y(P_i)$.

Nel caso in cui si consideri l'errore di misura la precedente funzione $K(H_{ip})$ diventa:

$$K(H_{ip}) = A_0 \cdot \delta + \sum_{m=0}^l (-1)^{m+1} \cdot b_m \cdot |h_{ip}|^{(2m+1)}$$

con $\delta=1$ per $i=p$; $\delta=0$ per $i \neq p$.

Considerando la presenza dell'errore di misura, il

sistema di Kriging è esattamente lo stesso, ma, poiché le misure $Y(P_i)$ non sono uguali ai valori attuali $Z(P_i)$, l'interpolatore di $Y(P_i)$ non passa esattamente attraverso $Y(P_i)$.

Il dominio K -dimensionale D rappresenta un iperpiano di variabili indipendenti con un diverso grado di variabilità e con differenti unità di misura; pertanto, nella risoluzione del sistema di Kriging, sono adottate coordinate normalizzate e distanze normalizzate del vettore h ; inoltre, anche la matrice di covarianza è in forma di covarianza generalizzata (occorre ricordare che i termini della covarianza sono funzione della sola distanza tra i punti rappresentati dal vettore h).

Dalla struttura dell'interpolatore è possibile osservare quanto segue:

- la tendenza locale è associata al piano (iperpiano) definito a partire da un campione di valori definiti;
- il prodotto dei pesi e della covarianza generalizzata rappresenta l'influenza delle misure sul valore interpolato;
- le misure ad una distanza h tra i punti interpolati maggiore hanno un'influenza minore (o, al limite, nulla) se confrontati con quelli posti nelle vicinanze;

- in presenza di una grande dispersione di dati all'interno del dominio definito, solo i dati posti nell'intorno del punto interpolato hanno importanza; ne segue che soltanto un intorno del punto può essere considerato per risolvere il sistema di Kriging (riduzione del numero di equazioni);

- la distribuzione dell'errore di stima di varianza σ è assunto pari a circa il 95% dell'intervallo gaussiano di confidenza (2σ);

- il valore vero $Z(P)$ può essere stimato come $Y(P) \pm 2\sigma$.

ATTUAZIONE DELL'ANALISI DI TENDENZA UTILIZZANDO TECNICHE DI KRIGING

L'attuazione del metodo di Kriging richiede:

- l'esecuzione delle misure relative alla variabile dipendente $Y(P)$ (grandezza operativa sorvegliata del macchinario) ed alle condizioni operative X_j ;

- la scelta, automatica, di un intorno ristretto del dominio di P e dei corrispondenti valori $Y(P_i)$;

- il calcolo della covarianza tra i punti P_i ;

- il calcolo della covarianza tra il punto P di cui si deve stimare $Y(P)$ ed i punti P_i disponibili;

- la soluzione del sistema di equazioni lineari, al fine di determinare i pesi W_i ed i coefficienti di Lagrange C_j .

Al fine di ottenere una soluzione razionale, devono essere considerati gli aspetti riportati ai punti seguenti:

- calcolo della covarianza: questa può essere calcolata a partire da dati sperimentali o da modelli simulanti una covarianza generalizzata la cui scelta ottimale è uno degli aspetti fondamentali atti ad influenzare i risultati e ad avere una sensibile influenza sul tempo macchina (tempo di calcolo);

- forma della tendenza locale: infatti nella descrizione del metodo sono state considerate tendenze locali costanti o lineari, ma Kriging può considerare anche funzioni quadratiche o cubiche;

- riduzione della dimensione del sistema di Kriging, effettuando la stima su dati considerati in corrispondenza di una certa posizione $\{X(P)\}$, considerando il vettore distanza h minore o uguale ad un certo valore R_0 selezionato (ad esempio, simulante un impianto utilizzante per lungo tempo le stesse condizioni operative), oppure raggruppando i dati disponibili (analisi a medio-lungo termine);

- preparazione di un file classificando ed organizzando i dati all'interno di esso; detto file consente un rapido accesso all'utilizzazione di quei dati richiesti per risolvere il sistema di Kriging con

un minimo calcolo intermedio;

- adozione di algoritmi efficienti per la soluzione del sistema di Kriging;

- confronto fra stima ed osservazione (misura corrente) con accettazione o rigetto dell'osservazione;

- analisi di tendenza a breve termine per conferma che l'osservazione non accettata è indice di possibile malfunzionamento e/o difetto.

MODELLO DI KRIGING

In accordo con i criteri definiti dalla tecnica di Kriging precedentemente descritta, è stata generata una base dati; i dati sono rappresentati all'interno di quest'ultima con {Y} (vettore delle vibrazioni misurate) e con {X} (la matrice corrispondente alle condizioni operative); in particolare, è possibile fare le osservazioni riportate ai punti seguenti:

- è definito, per ogni variabile X_i , il raggio d'azione e sono selezionati i valori massimi e minimi, al fine di operare la normalizzazione;

- le variabili (grandezze) rappresentanti le condizioni operative sono normalizzate, al fine di ottenere:

$$X_{ij} = \frac{(X_{ij} - X_{j \min})}{X_{j \max} - X_{j \min}} \quad \text{con } j=1 \dots K$$

Possiamo assumere che il valore minimo sia pari a 0

ed il valore massimo sia pari ad 1 (o rispettivamente -1 ed 1 per variabili con segno);

- assegnazione alla variabile Y_i del corrispondente vettore H_i ;

- riorganizzazione dei dati, per avere le Y_i ordinate in accordo con i valori crescenti di H_i ;

- calcolo delle distanze tra le coppie di valori sequenziali (D_h);

- determinazione del valore minimo di D_h (D_{hmin}).

Procedimenti basati sull'applicazione di semivariogrammi (sperimentali) sono applicabili solo se è presente una tendenza costante su tutto il dominio; se la tendenza non è costante, la procedura può essere modificata per considerare la non stazionarietà.

Sottraendo la tendenza alla variabile, il residuo $Z_i = Y_i - m$ ha media locale zero ed è possibile calcolare il semivariogramma.

La forma della tendenza non può essere assunta uguale in tutto il raggio d'azione, ma cambia, secondo i diversi sottodomini in cui quest'ultimo può essere suddiviso.

Tenuto presente quanto sopra esposto, nell'applicazione del metodo si utilizza la covarianza generalizzata, che consente di procedere senza disporre di informazioni sulla struttura dei dati, non richiede

operazioni di stima della tendenza e di sottrazione della stessa dalle variabili dipendenti in esame e consente di effettuare la stima del valore atteso (funzione dei parametri operativi), partendo da un numero minimo di dati.

Gli ulteriori vantaggi ottenibili con la tecnica di Kriging sono: non è necessario avere una banca dati ("base line") di riferimento, ma è possibile incrementare le diverse variabili nel tempo, in quanto, in un primo tempo, può essere disponibile un numero minimo di dati e pertanto il numero di punti necessario ad effettuare la stima è ridotto; è possibile utilizzare una serie di criteri adatti a consentire l'accettazione delle misure nonché la predizione dell'evoluzione delle grandezze a breve, medio e lungo termine; l'interpolazione fatta nel dominio K-dimensionale fornisce una stima più precisa di quella ottenibile con altri metodi; la stima è molto accurata e tiene conto della precisione delle misure e la dispersione ad essa collegata è ridotta, in quanto può essere considerato un grande numero di dati in un dominio limitato e, inoltre, possono essere facilmente stimati gli errori di misura; può essere valutata l'influenza di ogni modalità operativa sul valore stimato (comportamento locale e globale); il modello è immediatamente operativo,

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BM

infatti, qualora siano stati determinati due punti, gli altri possono essere stimati velocemente.

Alla luce di quanto sopra descritto, verrà ora descritta, con riferimento al diagramma di flusso illustrato in figura 1, una prima forma realizzativa del metodo di valutazione dell'attendibilità delle analisi di tendenza effettuate con la tecnica Kriging oggetto della presente invenzione.

In particolare, le operazioni descritte con riferimento alla figura 1 vengono ripetute ciclicamente per il monitoraggio continuativo del macchinario e ciascuna delle ripetizioni verrà contrassegnata nella descrizione con il pedice "j".

Inoltre, nella descrizione che segue si farà riferimento ad una grandezza operativa del macchinario sorvegliata il cui valore corrente, definito dal valore misurato alla ripetizione j-esima, verrà indicato con Z_j , ed il cui valore stimato (con la tecnica di Kriging) alla ripetizione j-esima verrà indicato con \hat{Z}_j .

In dettaglio, tale grandezza operativa sorvegliata è un parametro di un segnale elettrico indicativo dell'intensità delle vibrazioni del macchinario monitorato e generato da un sensore accoppiato al macchinario stesso.

Ad esempio, la grandezza operativa sorvegliata

potrebbe essere l'ampiezza (picco-picco, RMS, efficacie) del segnale elettrico, l'ampiezza o l'ampiezza e la fase di componenti armoniche del segnale elettrico, l'ampiezza e la fase di componenti sincrone (armoniche e subarmoniche) del moto di punti della linea d'assi del macchinario, derivate dall'elaborazione del segnale elettrico, l'ampiezza e fase del "generating vector" relative a componenti sincrone del moto della linea d'assi, derivate dall'elaborazione del segnale elettrico, l'ampiezza dell'asse principale e l'angolo dello stesso (rispetto al sistema di riferimento assunto) delle ellissi rappresentative del moto di un punto dell'albero derivate a partire dalle componenti sincrone (armoniche o subarmoniche).

La prima forma realizzativa del presente metodo è basata sull'assunzione che le suddette ampiezze abbiano sempre valori maggiori di zero e che la fase, eventualmente dopo essere pretrattata, sia compresa fra 0° e 360° o fra 0 e 2π .

L'analisi di tendenza (scostamento fra dati sperimentali misurati e stime degli stessi eseguite con la tecnica di Kriging) viene effettuata alla ripetizione j -esima a partire dall'errore definito dalla seguente espressione:

BOGGIO Luigi
(iscrizione Albo nr 251/BMJ)

$$err_j\% = \frac{Z_j - \hat{Z}_j}{Z_j} \cdot 100 \quad 3)$$

Si ricorda che la stima \hat{Z}_j è funzione di k variabili indipendenti rappresentative delle condizioni operative del macchinario sorvegliato.

È pertanto indispensabile garantirsi di disporre di stime corrette e di discriminare le misure della grandezza operativa sorvegliata in misure in assenza di difetti (vanno ad incrementare la base dati di riferimento da cui vengono selezionati i punti per l'applicazione del Kriging) ed in misure in presenza di difetti che stanno evolvendo o possono evolversi e dette misure non vanno inserite nella base dati di riferimento ma vengono organizzate in appositi vettori da utilizzarsi nell'analisi di tendenza e nella valutazione dell'evoluzione della grandezza operativa sorvegliata.

In accordo a quanto detto relativamente all'ampiezza della grandezza operativa sorvegliata (sempre maggiore di zero), l'errore $err_j\%$ è positivo se il valore corrente della grandezza operativa sorvegliata è maggiore del valore stimato, mentre è negativo se il valore corrente è minore del valore stimato.

Per la formazione della base dati di riferimento e del vettore $err_j\%$ si utilizza un indicatore C che assume alla ripetizione j -esima i valori di seguito indicati:

- $C_j=0$: la stima è accettata e la base dati di riferimento viene incrementata con la misura corrente;

- $C_j=1$: la stima non è accettata e la base dati di riferimento viene incrementata con la misura corrente;

- $C_j=2$: la stima è accettata ma la base dati di riferimento non viene incrementata con la misura corrente;

- $C_j=3$: la stima non viene eseguita in quanto la base dati di riferimento è vuota o contiene al più una misura (si ricorda che le stime possono essere eseguite se si dispone di almeno due misure); e

- $C_j=4$: macchina in "stand-by" (in rotazione ma non erogante potenza).

Pertanto le misure costituenti la base dati di riferimento sono identificate da: $C_j=0$ e $C_j=1$.

Secondo quanto illustrato in figura 1, inizialmente si perviene ad un blocco 100 nel quale vengono rilevati (misurati sul macchinario) il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata ed i valori X_i delle variabili rappresentanti le condizioni operative.

Dal blocco 100 si perviene quindi al blocco 110, nel quale viene calcolato, mediante la tecnica di Kriging, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata. In particolare, secondo un primo aspetto della presente invenzione, nel blocco 110 il calcolo del

valore stimato \hat{Z}_j , viene effettuato assumendo che la tendenza locale dei valori assunti dalla grandezza operativa sorvegliata sia lineare ("drift locale lineare"), ossia il calcolo del valore stimato \hat{Z}_j , viene effettuato utilizzando la formula 1).

Dal blocco 110 si perviene quindi al blocco 120 nel quale viene inizializzato un contatore I (ad esempio ponendolo uguale ad 1) il cui significato sarà più chiaro in seguito.

Dal blocco 120 si perviene quindi ad un blocco 130 nel quale viene verificato se il valore stimato \hat{Z}_j , della grandezza operativa sorvegliata è maggiore o uguale a zero.

Se il valore stimato \hat{Z}_j , è maggiore o uguale a zero (uscita SI dal blocco 130) allora si perviene ad un blocco 140, altrimenti se il valore stimato \hat{Z}_j , minore di zero (uscita NO dal blocco 130) allora si perviene ad un blocco 150 nel quale vengono effettuate operazioni di controllo della funzionalità delle linee di misura e del calcolatore che effettua la stima in quanto, come precedentemente detto, l'ampiezza della grandezza operativa sorvegliata può essere solo maggiore o uguale a zero.

Nel blocco 140 viene calcolato, utilizzando l'equazione 3), l'errore $err_j\%$ tra il valore corrente Z_j ,

ed il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata utilizzando la formula sopra riportata.

Dal blocco 140 si perviene quindi ad un blocco 160 nel quale viene verificato se l'errore $err_j\%$ è compreso in un intervallo di valori prefissato rappresentativo di valori accettabili dell'errore e definito da un valore minimo ed un valore massimo prefissati ed indicati con ε_1 e, rispettivamente, con ε_2 .

Se l'errore $err_j\%$ è compreso nel suddetto intervallo di valori prefissato, ossia se $\varepsilon_1 \leq err\% \leq \varepsilon_2$ (uscita SI dal blocco 160), allora si perviene ad un blocco 170, altrimenti se l'errore $err_j\%$ è esterno al suddetto intervallo di valori prefissato (uscita NO dal blocco 160) allora si perviene ad un blocco 180.

Nel blocco 170 il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata viene accettato ed inserito nella base dati di riferimento, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata viene accettato, l'errore $err_j\%$ calcolato viene inserito in un relativo vettore d'errore e l'indicatore C_j relativo alla formazione della base dati di riferimento viene posto pari a 0.

Dal blocco 170 si perviene quindi ad un blocco 260 descritto in seguito.

Nel blocco 180 viene incrementato di una unità il

contatore I e dal blocco 180 si perviene quindi ad un blocco 190 nel quale viene verificato se il contatore I assume un valore minore o uguale ad un valore prefissato, nell'esempio considerato 2.

In particolare, il valore prefissato con cui viene confrontato il valore assunto dal contatore I è pari al valore a cui è stato inizializzato il contatore I nel blocco 120 aumentato di una unità.

Se il contatore I assume un valore minore o uguale a 2 (uscita SI dal blocco 190) allora si perviene ad un blocco 200, altrimenti se il contatore I assume un valore maggiore di 2 (uscita NO dal blocco 190) allora si perviene ad un blocco 210.

Nel blocco 200 viene ricalcolato, mediante la tecnica di Kriging, il valore stimato \hat{Z}_j , della grandezza operativa sorvegliata. In particolare, secondo un secondo aspetto della presente invenzione, nel blocco 200 il calcolo del valore stimato \hat{Z}_j , viene effettuato assumendo che la tendenza locale dei valori assunti dalla grandezza operativa sorvegliata sia costante ("drift locale costante"), ossia il calcolo del valore stimato \hat{Z}_j , viene effettuato utilizzando la formula 2).

Dal blocco 200 si perviene nuovamente al blocco 130 per verificare se il valore stimato \hat{Z}_j , della grandezza operativa sorvegliata è maggiore o uguale a zero e

vengono quindi ripetute le operazioni descritte con riferimento ai blocchi 140-190.

E' utile evidenziare che il fatto che il valore prefissato con cui viene confrontato il valore assunto dal contatore I sia pari al valore a cui è stato inizializzato il contatore I stesso nel blocco 120 aumentato di una unità, ha lo scopo di consentire la ripetizione, per una sola volta, del calcolo del valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata assumendo però, a differenza di quanto fatto in precedenza, che la tendenza locale dei valori assunti dalla grandezza operativa sorvegliata sia costante anziché lineare.

In particolare, ripetendo le operazioni descritte nei blocchi 140-190 utilizzando il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata calcolato assumendo che la tendenza locale dei valori assunti dalla grandezza operativa sorvegliata sia costante, se l'errore $err_j\%$ è compreso nel suddetto intervallo di valori prefissato (uscita SI dal blocco 160) allora si perviene nuovamente al blocco 170, nel quale il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata viene accettato ed inserito nella base dati di riferimento, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata viene accettato, l'errore $err_j\%$ calcolato viene inserito

nel relativo vettore e viene posto pari a 0 l'indicatore C_j relativo alla formazione della base dati di riferimento.

Se invece ripetendo le operazioni descritte nei blocchi 140-190 l'errore $err_j\%$ è esterno al suddetto intervallo di valori prefissato (uscita NO dal blocco 160) allora si perviene nuovamente al blocco 180 nel quale il contatore I viene incrementato di una unità.

Pertanto, dal blocco 180 si perviene al blocco 190 nel quale viene nuovamente verificato che il valore assunto dal contatore I è maggiore di 2.

Essendo ora tale valore pari a 3, dal blocco 190 si perviene quindi (uscita NO) al blocco 210, nel quale viene verificato se il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata è minore o uguale ai valori correnti Z_1, Z_2, \dots, Z_{j-1} assunti dalla grandezza operativa sorvegliata nelle ripetizioni precedenti, ossia si verifica se:

$$Z_j \leq Z_M$$

in cui

$$Z_M = \max(Z_1, Z_2, \dots, Z_{j-1})$$

Se Z_j è minore o uguale di Z_M (uscita SI dal blocco 210) allora si perviene ad un blocco 220, altrimenti se Z_j è maggiore di Z_M (uscita NO dal blocco 210) allora si perviene ad un blocco 230.

Nel blocco 220 il valore corrente Z_j viene accettato ed inserito nella base dati di riferimento, il valore stimato \hat{Z}_j viene rifiutato, l'errore $err_j\%$ viene posto pari a 0, viene inserito nel relativo vettore d'errore e non verrà considerato nell'analisi di tendenza, e l'indicatore C_j relativo alla formazione della base dati di riferimento viene posto pari a 1.

Dal blocco 220 si perviene quindi ad un blocco 260 descritto in seguito.

Nel blocco 230 viene verificato se il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata è maggiore o uguale di un valore di soglia prefissato Z_0 rappresentativo di un valore limite di accettazione.

Se Z_j è maggiore o uguale del valore di soglia prefissato Z_0 (uscita SI dal blocco 230) allora si perviene ad un blocco 240, altrimenti se Z_j è minore del valore di soglia prefissato Z_0 (uscita NO dal blocco 230) allora si perviene ad un blocco 250.

Nel blocco 240 viene segnalato il superamento del valore di soglia Z_0 e dal blocco 240 si perviene quindi al blocco 250.

Nel blocco 250 il valore corrente Z_j viene accettato ma non inserito nella base dati di riferimento, il valore stimato \hat{Z}_j viene accettato, l'errore $err_j\%$ viene inserito nel rispettivo vettore

d'errore e l'indicatore C_j relativo alla formazione della base dati di riferimento viene posto pari a 2.

Dal blocco 250 si perviene quindi ad un blocco 260 nel quale viene atteso un comando esterno, ad esempio fornito da un operatore, indicativo della volontà di effettuare un'analisi di tendenza.

Se si desidera effettuare un'analisi di tendenza (uscita SI dal blocco 260) allora si perviene ad un blocco 270 nel quale viene eseguita un'analisi di tendenza mediante la tecnica di Kriging; tale analisi, eseguita allo scopo di identificare l'instaurarsi di eventuali difetti e/o malfunzionamenti e seguirne la loro evoluzione, viene effettuata utilizzando il vettore dell'errore $err_j\%$ i cui termini sono identificati dall'indicatore $C=0$ e/o $C=2$.

Se invece non si desidera effettuare un'analisi di tendenza (uscita NO dal blocco 260) allora si perviene ad un blocco 280 nel quale viene atteso un ulteriore comando esterno indicativo della volontà di effettuare una operazione di diagnostica sul macchinario monitorato.

Se si desidera effettuare una operazione di diagnostica (uscita SI dal blocco 280) allora si perviene ad un blocco 290 nel quale vengono eseguite operazioni di diagnostica non descritte in quanto non

facenti parte della presente invenzione, altrimenti se non si desidera effettuare un'operazione di diagnostica (uscita NO dal blocco 280) allora si perviene nuovamente al blocco 100 e vengono quindi ripetute le operazioni descritte nei blocchi 100-280.

Risulta utile effettuare ancora alcune considerazioni di carattere pratico che possono contribuire al miglioramento dei risultati ottenibili.

Come precedentemente detto, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata è funzione di K variabili indipendenti rappresentative delle condizioni operative del macchinario sorvegliato.

Prove sperimentali hanno dimostrato che un numero di variabili indipendenti compreso fra 1 e 5 consente di fornire risultati attendibili, ma tale numero può essere esteso anche fino a 10.

Inoltre, la base dati di riferimento è costituita da tutti i valori correnti (misurati) Z_j della variabile osservata e dalle corrispondenti condizioni operative (variabili indipendenti) del macchinario. La base dati di riferimento viene costruita nel tempo, a partire dal primo valore corrente acquisito, utilizzando quei valori correnti rispondenti ai criteri sopra descritti.

Pertanto, l'accumulo di valori correnti (nel corso del periodo di sorveglianza) permette di effettuare una

ripartizione della base dati di riferimento stessa in sottoinsiemi "omogenei" di condizioni operative ai fini di un incremento di precisione delle stime ed una riduzione dei tempi di calcolo.

Prove sperimentali hanno dimostrato che un numero di sottoinsiemi pari a 6 consente di ottenere un ottimo compromesso tra incremento di precisione delle stime e riduzione dei tempi di calcolo.

In particolare, essendo le variabili operative grandezze con segno, per esempio la potenza reattiva del macchinario, la base dati di riferimento può essere convenientemente ripartita in sottoinsiemi che tengono conto del segno della grandezza operativa sorvegliata. Nell'esempio considerato della potenza reattiva, la base dati è preferibilmente da ripartire in due sottoinsiemi che tengono conto del segno di una delle variabili indipendenti (potenza reattiva induttiva o capacitiva).

Per quanto riguarda invece i limiti di accettazione dell'errore $err_j\%$, prove sperimentali hanno dimostrato che un errore compreso tra il 5% ed il 25% consente di ottenere ottimi risultati di monitoraggio.

Come sopra detto, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata viene calcolato utilizzando il Kriging come interpolatore; per detto calcolo si assume che la tendenza della grandezza

operativa sorvegliata sia lineare ("drift locale lineare") e nel caso di mancato rispetto dei limiti imposti si riesegue il calcolo del valore stimato $\bar{\hat{Z}}$, assumendo che la tendenza della grandezza operativa sorvegliata sia costante ("drift locale costante"); pertanto il modello sviluppato utilizza un doppio modello di Kriging per eseguire la stima.

Prove sperimentali hanno dimostrato che buoni risultati di stima si possono ottenere utilizzando un numero di punti, prossimi al punto in esame, per il calcolo dei coefficienti di interpolazione (e quindi per la stima di una misura) compreso fra 20 e 40.

Mediante le stesse prove sperimentali, è stato dimostrato che nel caso in cui si tenga conto dell'errore di misura della grandezza operativa sorvegliata, il coefficiente A_0 è conveniente che assuma un valore minore o uguale a 0.02.

In figura 2 è illustrato un diagramma di flusso di operazioni relative ad una seconda forma realizzativa del metodo di valutazione dell'attendibilità delle analisi di tendenza effettuate con la tecnica Kriging oggetto della presente invenzione.

In tale seconda forma realizzativa, come grandezza operativa sorvegliata viene presa in considerazione la componente reale e la componente immaginaria del segnale

elettrico generato dal sensore, siano esse di valore positivo e negativo, oppure l'ampiezza e la fase del segnale elettrico, in cui si assume che l'ampiezza possa assumere qualsiasi valore positivo o negativo e la fase sia compresa fra -180° e $+180^\circ$.

Analogamente alla prima forma realizzativa, l'analisi di tendenza viene effettuata a partire dall'errore definito nell'espressione 3).

Il diagramma di flusso di figura 2 è molto simile al diagramma di flusso di figura 1 e per tale motivo verrà descritto in dettaglio solo in quelle parti in cui differisce dal diagramma di flusso di figura 1.

Secondo quanto illustrato in figura 2, inizialmente si perviene ad un blocco 300 nel quale vengono rilevati (misurati sul macchinario) il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata ed i valori X_i delle variabili rappresentanti le condizioni operative.

Dal blocco 300 si perviene quindi al blocco 310, nel quale viene calcolato, mediante la tecnica di Kriging, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata. Analogamente a quanto descritto per la prima forma realizzativa, nel blocco 310 il calcolo del valore stimato \hat{Z}_j viene effettuato assumendo che la tendenza locale dei valori assunti dalla grandezza operativa sorvegliata sia lineare ("drift locale

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BM

lineare").

Dal blocco 310 si perviene quindi al blocco 320 nel quale viene inizializzato (ad esempio ponendolo uguale ad 1) il contatore I , il cui significato è uguale a quello precedentemente descritto.

Dal blocco 320 si perviene quindi ad un blocco 340 nel quale viene calcolato, utilizzando l'equazione 3), l'errore $err_j\%$ tra il valore corrente Z_j ed il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata utilizzando la formula sopra riportata.

Per le assunzioni fatte (valori assumibili dalla grandezza operativa sorvegliata sia positivi che negativi), a differenza della prima forma realizzativa non vi è ora più la verifica se il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata è maggiore o uguale a zero.

Dal blocco 340 si perviene quindi ad un blocco 360 nel quale viene verificato se l'errore $err_j\%$ è compreso in un intervallo di valori prefissato rappresentativo di valori accettabili dell'errore e definito da un valore minimo ed un valore massimo prefissati ed indicati con ε_3 e, rispettivamente, con ε_4 .

Se l'errore $err_j\%$ è compreso nel suddetto intervallo di valori prefissato, ossia se $\varepsilon_3 \leq err\% \leq \varepsilon_4$ (uscita SI dal blocco 360) allora si perviene ad un

BOGGIO Luigi
(iscrizione Albo nr 251/BMJ)

blocco 370, altrimenti se l'errore $err_j\%$ è esterno al suddetto intervallo di valori prefissato (uscita NO dal blocco 360) allora si perviene ad un blocco 380.

Nel blocco 370 il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata viene accettato ed inserito nella base dati di riferimento, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata viene accettato, l'errore $err_j\%$ calcolato viene inserito nel relativo vettore d'errore e l'indicatore C_j relativo alla formazione della base dati di riferimento viene posto pari a 0.

Dal blocco 370 si perviene quindi ad un blocco 460 descritto in seguito.

Nel blocco 380 viene incrementato di una unità il contatore I e dal blocco 380 si perviene quindi ad un blocco 390 nel quale viene verificato se il contatore I assume un valore minore o uguale a 2.

Se il contatore I assume un valore minore o uguale a 2 (uscita SI dal blocco 390) allora si perviene ad un blocco 400, altrimenti se il contatore I assume un valore maggiore di 2 (uscita NO dal blocco 390) allora si perviene ad un blocco 410.

Nel blocco 400 viene ricalcolato, mediante la tecnica di Kriging, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata assumendo che la tendenza locale

dei valori assunti dalla grandezza operativa sorvegliata sia costante ("drift locale costante").

Dal blocco 400 si perviene nuovamente al blocco 340 per il calcolo dell'errore $err_j\%$ e vengono quindi ripetute le operazioni descritte con riferimento ai blocchi 360-390.

In particolare, ripetendo le operazioni descritte nei blocchi 360-390 utilizzando il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata calcolato assumendo che la tendenza locale dei valori assunti dalla grandezza operativa sorvegliata sia costante, se l'errore $err_j\%$ è compreso nel suddetto intervallo di valori prefissato (uscita SI dal blocco 360) allora si perviene nuovamente al blocco 370, nel quale il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata viene accettato ed inserito nella base dati di riferimento, il valore stimato \hat{Z}_j della grandezza operativa sorvegliata viene accettato, l'errore $err_j\%$ calcolato viene inserito nel relativo vettore e viene posto pari a 0 l'indicatore C_j relativo alla formazione della base dati di riferimento.

Se invece ripetendo le operazioni descritte nei blocchi 360-390 l'errore $err_j\%$ è esterno al suddetto intervallo di valori prefissato (uscita NO dal blocco 360) allora si perviene nuovamente al blocco 380 nel

quale il contatore I viene incrementato di una unità.

Pertanto, dal blocco 380 si perviene al blocco 390 nel quale viene nuovamente verificato che il valore assunto dal contatore I è maggiore di 2.

Essendo ora tale valore pari a 3, dal blocco 390 si perviene quindi (uscita NO) al blocco 410, nel quale viene verificato se il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata è compreso in un intervallo di valori prefissato definito da un valore minimo ed un valore massimo pari al minimo e, rispettivamente, al massimo tra i valori correnti Z_j assunti dalla grandezza operativa sorvegliata nelle ripetizioni precedenti, ossia si verifica se:

$$Z_m \leq Z_j \leq Z_M$$

in cui:

$$Z_m = \min(Z_1, Z_2, \dots, Z_{j-1})$$

$$Z_M = \max(Z_1, Z_2, \dots, Z_{j-1})$$

Se Z_j è compreso nel suddetto intervallo di valori prefissato (uscita SI dal blocco 410) allora si perviene ad un blocco-420, altrimenti se Z_j è esterno al suddetto intervallo di valori prefissato (uscita NO dal blocco 410) allora si perviene ad un blocco 430.

Nel blocco 420 il valore corrente Z_j viene accettato ed inserito nella base dati di riferimento, il valore stimato \hat{Z}_j viene rifiutato, l'errore $err_j\%$ viene

posto pari a 0, viene inserito nel relativo vettore d'errore e non verrà considerato nell'analisi di tendenza, e l'indicatore C_j relativo alla formazione della base dati di riferimento viene posto pari a 1.

Dal blocco 420 si perviene quindi ad un blocco 460 descritto in seguito.

Nel blocco 430 viene verificato se il valore corrente Z_j della grandezza operativa sorvegliata è esterno ad un intervallo di valori prefissato definito da un valore minimo Z_1 ed un valore massimo Z_2 prefissati rappresentativi di un valore limite inferiore di accettazione e, rispettivamente, di un valore limite superiore di accettazione.

Se Z_j è esterno al suddetto intervallo di valori prefissato, ossia Z_j è minore di Z_1 oppure Z_j è maggiore di Z_2 (uscita SI dal blocco 430), allora si perviene ad un blocco 440, altrimenti se Z_j è compreso nel suddetto intervallo di valori prefissato (uscita NO dal blocco 430) allora si perviene ad un blocco 450.

Nel blocco 440 viene segnalato il superamento del valore di soglia Z_1 o Z_2 e dal blocco 440 si perviene quindi al blocco 450.

Nel blocco 450 il valore corrente Z_j viene accettato ma non inserito nella base dati di riferimento, il valore stimato \hat{Z}_j viene accettato,

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BMI

l'errore $err_j\%$ viene inserito nel relativo vettore d'errore e l'indicatore C_j relativo alla formazione della base dati di riferimento viene posto pari a 2.

Dal blocco 450 si perviene quindi ad un blocco 460 nel quale viene atteso un comando esterno, ad esempio fornito da un operatore, indicativo della volontà di effettuare un'analisi di tendenza.

Se si desidera effettuare un'analisi di tendenza (uscita SI dal blocco 460) allora si perviene ad un blocco 470 nel quale viene eseguita un'analisi di tendenza mediante la tecnica di Kriging, altrimenti se non si desidera effettuare un'analisi di tendenza (uscita NO dal blocco 460) allora si perviene ad un blocco 480 nel quale viene atteso un ulteriore comando esterno indicativo della volontà di effettuare una operazione di diagnostica sul macchinario monitorato.

Se si desidera effettuare una operazione di diagnostica (uscita SI dal blocco 480) allora si perviene ad un blocco 490 nel quale vengono eseguite operazioni di diagnostica non descritte in quanto non facenti parte della presente invenzione, altrimenti se non si desidera effettuare un'operazione di diagnostica (uscita NO dal blocco 480) allora si perviene nuovamente al blocco 300 e vengono quindi ripetute le operazioni descritte nei blocchi 300-480.

Risulta infine chiaro che al metodo di valutazione qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione.

BOGGIO Luigi
(iscrizione Albo nr 251/BMJ)

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

1.- Metodo di valutazione dell'attendibilità di un'analisi di tendenza effettuata mediante la tecnica di Kriging su di una grandezza operativa di un macchinario indicativa della presenza di difetti nel macchinario stesso, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

a) acquisire (100; 300) un valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa;

b) calcolare (110; 310) un primo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa mediante detta tecnica di Kriging assumendo che la tendenza locale dei valori assunti da detta grandezza operativa sia lineare;

c) calcolare (140; 340) un primo valore di errore ($err_j\%$) in base a detto valore corrente (Z_j) e a detto primo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa;

d) confrontare (160; 360) detto primo valore di errore ($err_j\%$) con almeno un primo valore di soglia prefissato (ϵ_1, ϵ_2);

e) accettare (170; 370) detto primo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa qualora detto primo valore di errore ($err_j\%$) presenti una prima relazione prefissata con detto primo valore di soglia prefissato (ϵ_1, ϵ_2);

f) calcolare (200; 400) un secondo valore stimato

(\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa mediante detta tecnica di Kriging assumendo che la tendenza locale dei valori assunti da detta grandezza operativa sia costante qualora detto primo valore di errore ($err_j\%$) non presenti detta prima relazione prefissata con detto primo valore di soglia prefissato (ϵ_1, ϵ_2);

g) calcolare (140; 340) un secondo valore di errore ($err_j\%$) in base a detto valore corrente (Z_j) e a detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa;

h) confrontare (160; 360) detto secondo valore di errore ($err_j\%$) con almeno un secondo valore di soglia prefissato (ϵ_1, ϵ_2); e

i) accettare (170; 370) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa qualora detto secondo valore di errore ($err_j\%$) presenti una seconda relazione prefissata con detto secondo valore di soglia prefissato (ϵ_1, ϵ_2).

2.- Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detta fase d) comprende la fase di confrontare (160; 360) detto primo valore di errore ($err_j\%$) con un primo intervallo di valori prefissato (ϵ_1, ϵ_2);

dal fatto che detta fase e) comprende la fase di:

e1) accettare (170; 370) detto primo valore stimato

(\hat{Z}_j) qualora detto primo valore di errore ($err_j\%$) presenti una terza relazione prefissata con detto primo intervallo di valori prefissato (ϵ_1, ϵ_2); e

dal fatto che detta fase f) comprende la fase di:

f1) calcolare (200; 400) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa mediante detta tecnica di Kriging assumendo che la tendenza locale dei valori assunti da detta grandezza operativa sia costante qualora detto primo valore di errore ($err_j\%$) non presenti detta terza relazione prefissata con detto primo intervallo di valori prefissato (ϵ_1, ϵ_2).

3. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta e1) comprende la fase di accettare (170; 370) detto primo valore stimato (\hat{Z}_j) qualora detto primo valore di errore ($err_j\%$) sia compreso in detto primo intervallo di valori prefissato (ϵ_1, ϵ_2), e dal fatto che detta fase f1) comprende la fase di calcolare (200; 400) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa mediante detta tecnica di Kriging assumendo che la tendenza locale dei valori assunti da detta grandezza operativa sia costante qualora detto primo valore di errore ($err_j\%$) sia esterno a detto primo intervallo di valori prefissato (ϵ_1, ϵ_2).

4.- Metodo secondo la rivendicazione 2 o 3, caratterizzato dal fatto che detta fase h) comprende la

BOGGIO Luigi
iscrizione Albo nr 251/BMJ

fase di confrontare (160; 370) detto secondo valore di errore ($err_j\%$) con un secondo intervallo di valori prefissato ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$), e

dal fatto che detta fase i) comprende la fase di:

il) accettare (170; 370) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) qualora detto secondo valore di errore ($err_j\%$) presenti una quarta relazione prefissata con detto secondo intervallo di valori prefissato ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$).

5.- Metodo secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta fase il) comprende la fase di accettare (170; 370) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) qualora detto secondo valore di errore ($err_j\%$) sia compreso in detto secondo intervallo di valori prefissato ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$).

6.- Metodo secondo la rivendicazione 4 o 5, caratterizzato dal fatto che detto primo intervallo di valori prefissato ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$) e detto secondo intervallo di valori prefissato ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$) sono uguali tra loro.

7.- Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 6, caratterizzato dal fatto di comprendere, prima di detta fase c), la fase di:

k) confrontare (130) detto primo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa con un terzo valore di soglia prefissato;

detta fase c) essendo eseguita qualora detto primo

BOGGIO Luigi
Iscrizione Albo nr 251/BMJ

valore stimato (\hat{Z}_j) presenti una quinta relazione prefissata con detto terzo valore di soglia prefissato.

8.- Metodo secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detta fase c) è eseguita qualora detto primo valore stimato (\hat{Z}_j) sia maggiore o uguale di detto terzo valore di soglia prefissato.

9.- Metodo secondo la rivendicazione 7 o 8, caratterizzato dal fatto che detta fase c) è eseguita qualora detto primo valore stimato (\hat{Z}_j) sia maggiore o uguale a zero.

10.- Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre le fasi di:

m) confrontare (210; 410) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa con almeno un quarto valore di soglia prefissato (Z_m, Z_M) qualora detto secondo valore di errore ($err_j\%$) non presenti detta seconda relazione prefissata con detto secondo valore di soglia prefissato ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$); e

p) rifiutare (220; 420) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa qualora detto valore corrente (Z_j) presenti una sesta relazione prefissata con detto quarto valore di soglia prefissato (Z_m, Z_M).

11.- Metodo secondo la rivendicazione 10,

BOGGIO Luigi
Iscrizione Albo nr 251/BM

caratterizzato dal fatto che detta fase p) comprende la fase di rifiutare (220; 420) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) qualora detto valore corrente (Z_j) sia minore o uguale di detto quarto valore di soglia prefissato (Z_m, Z_M).

12.- Metodo secondo la rivendicazione 10 o 11, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre la fase di ripetere dette fasi da a) ad p) per ottenere una pluralità (j) di detti valori correnti (Z_j) e di detti primi e secondi valori stimati (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa e dal fatto che in ciascuna di dette ripetizioni detto quarto valore di soglia prefissato (Z_M) è pari al massimo tra i valori correnti (Z_j) assunti da detta grandezza operativa nelle ripetizioni precedenti.

13.- Metodo secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che detta fase m) comprende la fase di:

m1) confrontare (410) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa con un terzo intervallo di valori prefissato (Z_m, Z_M); e

dal fatto che detta fase p) comprende la fase di:

p1) rifiutare (420) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa qualora detto valore corrente (Z_j) presenti una settima relazione prefissata

con detto terzo intervallo di valori prefissato (Z_m, Z_M) .

14.- Metodo secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che detta fase p1) comprende la fase di rifiutare (420) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa qualora detto valore corrente (Z_j) sia compreso in detto terzo intervallo di valori prefissato (Z_m, Z_M) .

15.- Metodo secondo la rivendicazione 13 o 14, caratterizzato dal fatto di comprendere la fase di ripetere dette fasi da a) ad p) per ottenere una pluralità (j) di detti valori correnti (Z_j) e di detti primi e secondi valori stimati (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa e dal fatto che detto terzo intervallo di valori prefissato (Z_m, Z_M) è definito da un primo (Z_m) ed un secondo (Z_M) valore di estremità pari, in ciascuna di dette ripetizioni, al minimo e, rispettivamente, al massimo tra i valori correnti (Z_j) assunti da detta grandezza operativa nelle ripetizioni precedenti.

16.- Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 10 a 15, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre la fase di:

r) accettare (250; 450) detto secondo valore stimato (\hat{Z}_j) di detta grandezza operativa qualora detto

valore corrente (Z_j) non presenti detta settima relazione prefissata con detto quarto valore di soglia prefissato (Z_m, Z_M).

17.- Metodo secondo la rivendicazione 15, caratterizzato dal fatto di comprende inoltre, prima di detta fase r), le fasi di:

s) confrontare (230; 430) detto valore corrente (Z_j) con almeno un quinto valore di soglia prefissato (Z_0); e

t) segnalare (240; 440) una condizione di superamento soglia qualora detto valore corrente (Z_j) presenti una ottava relazione prefissata con detto quinto valore di soglia prefissato (Z_0).

18.- Metodo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detta fase t) comprende la fase di segnalare (240; 440) detta condizione di superamento soglia qualora detto valore corrente (Z_j) sia maggiore di detto quinto valore di soglia prefissato (Z_0).

19.- Metodo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detta fase s) comprende la fase di:

s1) confrontare (430) detto valore corrente (Z_j) con un quarto intervallo di valori prefissato (Z_1, Z_2); e dal fatto che detta fase t) comprende la fase di:

t1) segnalare (440) detta condizione di superamento soglia qualora detto valore corrente (Z_j) presenti una nona relazione prefissata con detto quarto intervallo di valori prefissato (Z_1, Z_2).

20.- Metodo secondo la rivendicazione 19, caratterizzato dal fatto che detta fase t1) comprende la fase di segnalare (440) detta condizione di superamento soglia qualora detto valore corrente (Z_j) sia esterno a detto quarto intervallo di valori prefissato (Z_1, Z_2).

21.- Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre, dopo detta fase e), le fasi di:

u1) accettare (170; 370) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa qualora detto primo valore di errore ($err_j\%$) presenti detta prima relazione prefissata con detto primo valore di soglia prefissato (ϵ_1, ϵ_2);

u2) inserire (170; 370) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa in una base dati di riferimento; e

u3) inserire (170; 370) detto primo valore di errore ($err_j\%$) in un vettore di errore.

22.- Metodo secondo la rivendicazione 21, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre, dopo dette fasi u1), u2) e u3), la fase di associare (170;

370) a detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa e a detto primo valore di errore ($err_j\%$) un primo valore di identificazione prefissato (C_j).

23.- Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre, dopo detta fase i), le fasi di:

v1) accettare (170; 370) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa qualora detto secondo valore di errore ($err_j\%$) presenti detta seconda relazione prefissata con detto secondo valore di soglia prefissato (ϵ_1, ϵ_2);

v2) inserire (170; 370) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa in una base dati di riferimento; e

v3) inserire (170; 370) detto secondo valore di errore ($err_j\%$) in un vettore di errore.

24.- Metodo secondo la rivendicazione 23, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre, dopo dette fasi v1), v2) e v3), la fase di associare (170; 370) a detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa e a detto secondo valore di errore ($err_j\%$) un secondo valore di identificazione prefissato (C_j).

25.- Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 10 a 15, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre, dopo detta fase p), le fasi di:

w1) accettare (220; 420) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa qualora detto valore corrente (Z_j) presenti detta sesta relazione prefissata con detto quarto valore di soglia prefissato (Z_m, Z_M);

w2) inserire (220; 420) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa in una base dati di riferimento;

w3) porre a zero detto secondo valore di errore ($err_j\%$); e

w4) inserire (220; 420) detto secondo valore di errore ($err_j\%$) in un vettore di errore.

26.- Metodo secondo la rivendicazione 25, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre, dopo dette fasi w1) e w2), la fase di associare (220; 420) a detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa e a detto secondo valore di errore ($err_j\%$) un terzo valore di identificazione prefissato (C_j).

27.- Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 16 a 20, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre, dopo detta fase r), la fase di:

z1) accettare (250; 450) detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa qualora detto valore corrente (Z_j) non presenti detta settima relazione prefissata con detto quarto valore di soglia prefissato (Z_m, Z_M); e

z2) inserire (250; 450) detto secondo valore di errore ($err_j\%$) in un vettore di errore.

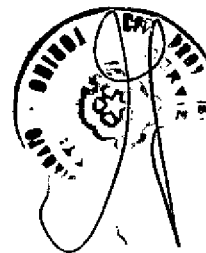
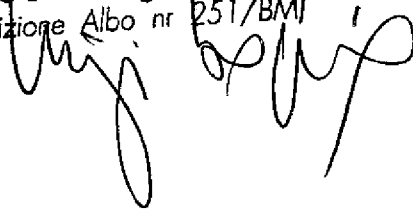
28.- Metodo secondo la rivendicazione $\overline{27}$, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre, dopo dette fasi z1) e z2), la fase di associare (250; 450) a detto valore corrente (Z_j) di detta grandezza operativa e a detto secondo valore di errore ($err_j\%$) un quarto valore di identificazione prefissato (C_j).

29. Metodo di valutazione dell'attendibilità di un'analisi di tendenza effettuata mediante la tecnica di Kriging su di una grandezza operativa di un macchinario indicativa della presenza di difetti nel macchinario stesso, sostanzialmente come descritto con riferimento ai disegni allegati.

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

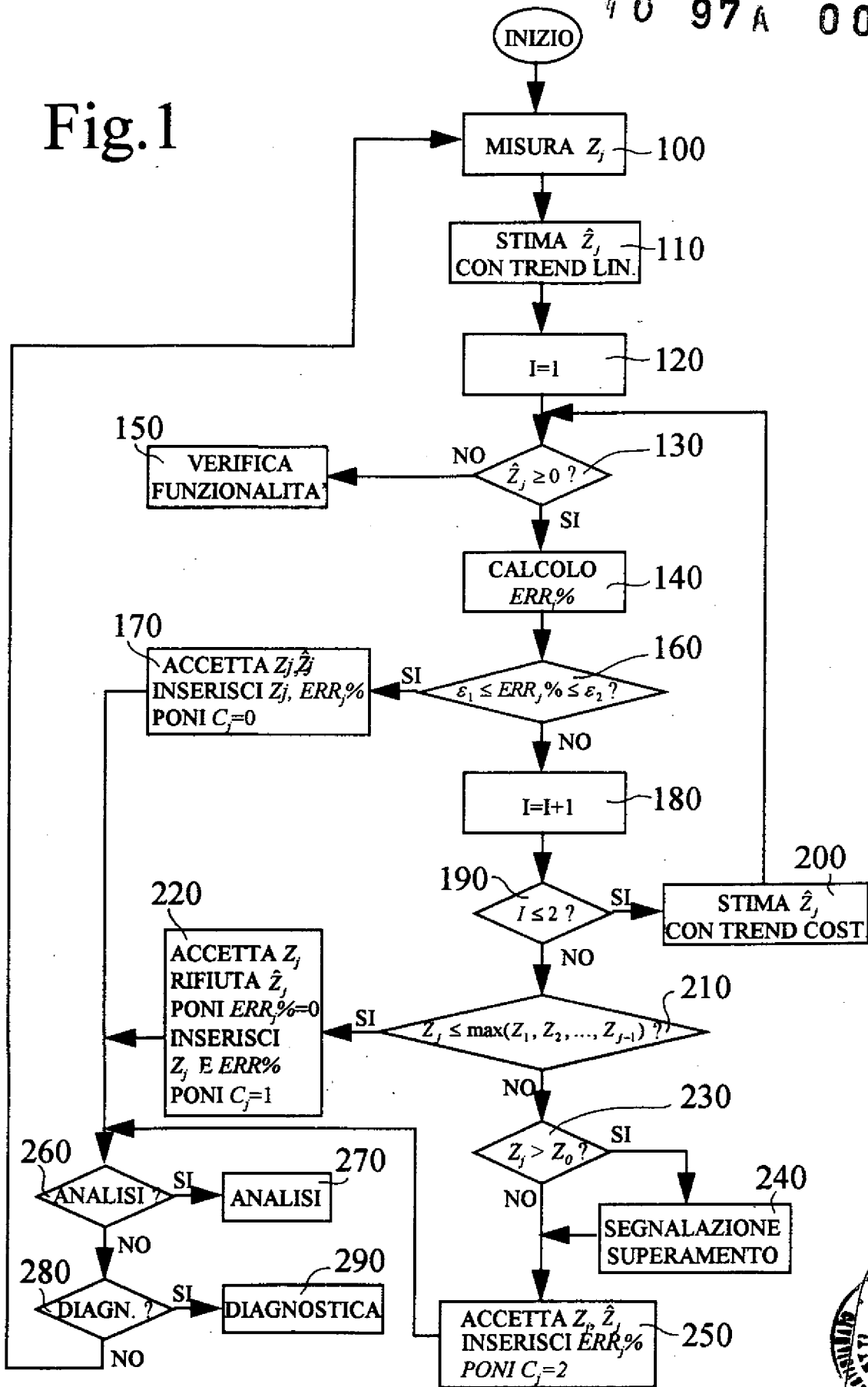
BOGGIO Luigi
(iscrizione Albo nr

251/BM)



BOGGIO Luigi
(iscrizione Albo nr 251/BM)

Fig.1



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

BOGGIO Luigi
 (iscrizione Albo nr 261/BM)

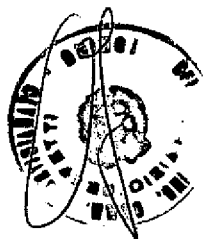
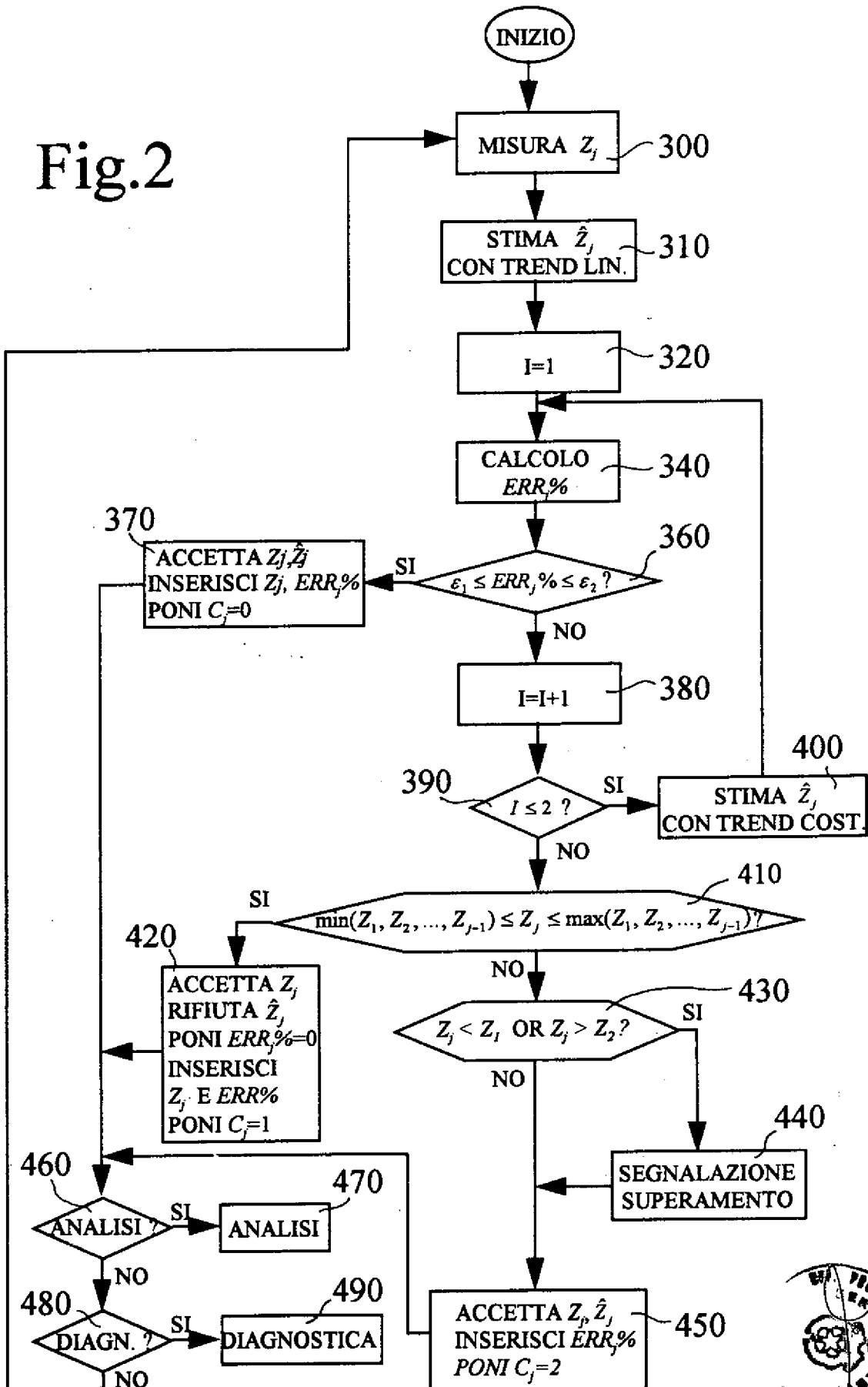


Fig.2



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

BOGGIO Luigi
 Iscrizione Albo nr 251/BM

