

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102022000023919
Data Deposito	21/11/2022
Data Pubblicazione	21/05/2024

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	N	33	44

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	32	B	3	08

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	64	F	5	60

Titolo

Metodo per controllare l'umidità interna in una struttura di materiale composito su un velivolo

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

**"Metodo per controllare l'umidità interna in una
struttura di materiale composito su un velivolo"**

di: LEONARDO S.p.A., nazionalità italiana, Piazza Monte
Grappa 4 - 00195 ROMA (ITALIA)

Inventore designato: Michele IANNONE

Depositata il: 21 novembre 2022

** * **

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ai metodi di controllo dell'umidità interna negli articoli di materiale composito.

Come è noto, i compositi utilizzati per la realizzazione di strutture aeronautiche sono soggetti ad assorbire umidità in misura proporzionale all'umidità atmosferica. La rapidità di assorbimento e desorbimento dell'umidità aumenta con la temperatura, e diminuisce con il quadrato dello spessore della parte.

Una struttura in composito esposta per un tempo sufficientemente lungo ad una condizione ambientale costante raggiunge un contenuto di umidità "di equilibrio" con l'ambiente. Se l'umidità ambientale è la massima possibile (umidità relativa ambientale RH=100%) l'equilibrio di umidità strutturale è indicato come "Condizione Wet".

Un composito esposto per un tempo sufficientemente lungo ad una condizione di umidità media tipica (circa 50%) raggiunge un'umidità interna che si equilibra con $RH=50\%$ e che è indicata come "Condizione Ambient".

Un composito appena fabbricato, o esposto per un tempo sufficiente ad una condizione di umidità 0%, raggiunge un'umidità interna che si equilibra con $RH=0\%$ e che è indicata come "Condizione Dry".

Come è noto, l'assorbimento di umidità abbassa le proprietà meccaniche del composito per un'azione di plasticizzazione esercitata dalle molecole d'acqua (triatomiche) che, mescolandosi con le macromolecole del polimero, producono una miscela a peso molecolare mediamente più basso rispetto a quello del solo polimero; il livello di abbattimento delle proprietà meccaniche dipende dallo specifico composito considerato.

In generale si può comunque affermare che l'abbattimento delle "tensioni meccaniche ammissibili" da ambient a wet alla temperatura massima di servizio (condizione hot - tipicamente 80°C per i velivoli commerciali) è di almeno il 5%, da dry a wet è almeno il 10%.

Non essendo note per tutti gli aerei le condizioni di servizio, ed essendo possibile in via di principio anche una esposizione prolungata a condizioni di massima umidità, ed essendo la vita prevista per i velivoli di

alcuni decenni, attualmente per le strutture in composito è richiesta la certificazione in condizioni hot wet (massima temperatura di servizio e massimo contenuto di umidità), con l'utilizzo di proprietà strutturali (ammissibili) misurate sul materiale in tali condizioni hot wet. Ciò comporta l'utilizzo di proprietà di almeno 5% più basse rispetto a quelle hot ambient, e del 10% più basse rispetto a quelle hot dry, e ad un incremento del peso della struttura in percentuale circa equivalente al decremento degli ammissibili. Questa scelta conservativa è attualmente prescritta dalle Airworthiness Authorities.

L'introduzione di un metodo di controllo dell'umidità interna dei compositi che garantisce il non superamento di un limite prefissato, consentirebbe di negoziare con le Airworthiness Authorities degli incrementi sulle "tensioni ammissibili" da un minimo del 5% ad un massimo del 10% con equivalenti risparmi sul peso delle strutture in composito. La pubblicazione EP 2114666 A1 della stessa Richiedente descrive un metodo per il controllo dell'umidità basato su mezzi di riscaldamento incorporati in una struttura di materiale composito, e nel quale la struttura viene riscaldata secondo cicli periodici di riscaldamento, detti cicli essendo programmati per mantenere l'umidità assorbita al di sotto di un

valore di soglia prestabilito, dove l'umidità assorbita è calcolata sulla base di una legge di diffusione dell'umidità all'interno del materiale composito e sulla base di condizioni atmosferiche di esercizio del velivolo.

Tale metodo noto non consente tuttavia la verifica sperimentale del livello di umidità assorbita e non è generalmente accettato ai fini certificativi. Vi è pertanto la necessità di un metodo di controllo dell'umidità interna dei compositi che garantisca il non superamento di un limite prefissato anche con verifica diretta.

A fronte di tale necessità, forma oggetto dell'invenzione un metodo secondo l'annessa rivendicazione 1. Caratteristiche preferite del metodo secondo l'invenzione sono descritte nelle rivendicazioni dipendenti.

Vantaggi e caratteristiche della presente invenzione risulteranno evidenti dalla descrizione dettagliata seguente, fornita in un modo non limitativo con riferimento ai seguenti esempi e disegni, nei quali:

le figure 1 e 2 sono viste schematiche, rispettivamente in pianta e in sezione, di una struttura di materiale composito provvista di un sistema per la misura dell'umidità interna;

la figura 3 riporta il diagramma di flusso di un

metodo secondo l'invenzione;

la figura 4 riporta in dettaglio il diagramma di flusso di un singolo passo del metodo di figura 3.

Nelle figure 1 e 2 è rappresentato, in maniera semplificata, una struttura 1 di materiale composito montata a bordo di un aeromobile. Tale struttura 1 comprende, in modo di per sé noto, una pluralità di lamine di materiale 10 intimamente legate fra loro per mezzo di pressione e calore, in cui ciascuna lamina di materiale 10 è formata da una matrice di resina rinforzata con un materiale in fibre. La matrice polimerica può essere termoplastica o termoindurente, ed è rinforzata con fibre. Le lamine di materiale 10 definiscono fra loro zone di interfaccia 11, 12, 13.

La struttura 1 comprende mezzi sensori di umidità 30 annegati nel materiale composito, i quali sono rispettivamente disposti in almeno una zona di interfaccia 11, 13 fra gli strati 1. I mezzi sensori di umidità 30 possono essere ad esempio di tipo capacitivo, e possono essere inseriti in diversi punti dello spessore della struttura 1. I mezzi sensori di umidità 30 sono operativamente collegati ad un sistema di controllo 60, che riceve i dati di misurazione da essi forniti e li elabora secondo un programma prestabilito, che verrà descritto nel seguito. I mezzi sensori di umidità 30 possono essere

posizionati nella struttura 1 secondo le modalità descritte nella pubblicazione EP 2906944 A1 della stessa Richiedente.

Il metodo di controllo secondo l'invenzione presuppone un modello matematico di assorbimento-desorbimento dell'umidità interna nella struttura 1. In particolare tale modello si basa sulla legge di Fick per la diffusione, che nel caso monodimensionale è espressa nel modo seguente:

$$\Phi = - D * \delta c / \delta x,$$

dove Φ è il flusso di diffusione, D è il coefficiente di diffusione, c è la concentrazione e x è la coordinata spaziale. Tipicamente il coefficiente di diffusione D cambia con la temperatura seguendo la legge di Arrhenius:

$$D = D_0 * \exp (-E_a/RT),$$

dove T è la temperatura in K, E_a un'energia di attivazione e R la costante universale dei gas.

Il modello matematico considera le seguenti variabili per calcolare gli intervalli di controllo dell'umidità (tramite misurazioni), e i tempi di condizionamento della struttura 1:

- spessori nella struttura 1 cui si applicano le "tensioni ammissibili"

- parametri di assorbimento dell'umidità nel materiale composito (incremento di peso asintotico per umidità assorbita % vs. RH, coefficiente di diffusione D)
- limite di umidità strutturale da non superare (indicato con $h_{c_{max}}$ nel seguito)
- frequenza di desorbimento massima accettabile
- tempo e temperatura di desorbimento massimi accettabili
- condizione ambientale standard di servizio (temperatura, RH considerate nelle condizioni normali di servizio del velivolo)
- condizione ambientale di esecuzione del piano di desorbimento (ovvero la condizione ambientale, in particolare in termini di umidità relativa ambientale, alla quale verrebbe eseguito il desorbimento programmato da eseguire sulla struttura 1, che può essere diversa dalla condizione ambientale di servizio).

Nel seguito, la condizione ambientale di esecuzione del piano di desorbimento verrà anche definita condizione ambientale di manutenzione.

Con riferimento alla figura 3, si descrive ora un metodo di controllo, che può essere implementato dal sistema di controllo 60 sopra descritto.

All'inizio, in una memoria 61 del sistema di controllo 60 si caricano i dati sopra descritti (passo 101).

Come sopra indicato, il metodo di controllo prevede che la lettura dell'umidità interna tramite i sensori 30 avvenga ad intervalli determinati in base al modello matematico. Pertanto, si avvia un conteggio temporale (passi 102, 103), il cui valore t viene incrementato fino a diventare pari a un tempo di verifica umidità interna t_v stabilito dal modello matematico suddetto (passo 104). Con i sensori 30, si provvede quindi a misurare i valori di umidità interna nella struttura 1 ai differenti livelli di profondità cui sono associati i sensori 30 (passo 105).

Il sistema di controllo 60 provvede quindi a confrontare i valori misurati di umidità interna h_c con un limite di umidità interna accettabile $h_{c_{max}}$ (passo 106). Se tali valori misurati di umidità interna non superano il limite $h_{c_{max}}$, il sistema di controllo 60 provvede ad azzerare il conteggio temporale e a ripartire dal passo 102 sopra descritto (passo 107). Se invece i valori misurati di umidità interna superano il limite $h_{c_{max}}$, il sistema di controllo 60 provvede ad emettere un segnale di avviso e a determinare un piano di desorbimento da eseguire (passo 108). In pratica, vengono calcolate durata del piano di desorbimento e temperatura di desorbimento alla quale deve essere sottoposta la struttura 1, sulla base del modello matematico sopra descritto,

considerato a una data umidità relativa ambientale associata all'ambiente di esecuzione del piano di desorbimento. Detta temperatura di desorbimento può essere riferita alla struttura o all'ambiente di esecuzione del piano di desorbimento (e quindi dovrà essere corrispondentemente misurata al termine dell'esecuzione del piano di desorbimento, per verificare se il piano è correttamente eseguito). Secondo una forma di realizzazione preferita, il sistema di controllo crea una tabella di valori calcolati del tempo di desorbimento in funzione di valori della temperatura di desorbimento e di valori dell'umidità relativa ambientale associata all'ambiente di esecuzione del piano di desorbimento.

Con riferimento alla figura 4, vengono descritti in dettaglio i passi di definizione del piano di desorbimento, eseguiti nell'ambito del passo 108. Inizialmente si calcola il piano di desorbimento nella condizione ambientale di manutenzione prevista (passo 108.1). Si determina quindi la durata del piano di desorbimento, cioè il tempo t_d previsto per il raggiungimento della soglia di umidità nella condizione ambientale di manutenzione prevista (passo 108.2).

Si effettua quindi un confronto fra il tempo t_d e un tempo di riferimento t_a ritenuto accettabile, ad esempio in funzione del tempo di sosta che si ritiene di

potersi permettere in base al tipo di utilizzo del velivolo (passo 108.3). Se il tempo t_d previsto per il desorbimento è maggiore del tempo di riferimento t_a , e quindi non è accettabile, il sistema di controllo 60 provvede ad aumentare la temperatura di desorbimento t_d (passo 108.4) e a eseguire nuovamente i passi di calcolo 108.1 e 108.2 e il passo di confronto 108.3.

Se il tempo t_d previsto per il desorbimento è minore del tempo di riferimento t_a , il sistema di controllo 60 provvede a registrare il tempo di desorbimento e la temperatura di riscaldamento calcolati (passo 108.5), che verranno utilizzati per l'esecuzione del piano di desorbimento.

Il piano di desorbimento viene quindi eseguito (passo 109), per una durata pari al tempo di desorbimento calcolato, e a una temperatura pari alla temperatura di riscaldamento calcolata.

A tal fine, la struttura 1 di materiale composito può essere prevista di mezzi di riscaldamento incorporati come descritto nella pubblicazione EP 2114666 A1 della stessa Richiedente, che quindi verrebbero attivati secondo il piano di desorbimento definito nel modo sopra discusso. L'alimentazione elettrica dei mezzi di riscaldamento suddetti potrebbe essere garantita tramite utilizzo di strutture aeroportuali o con collegamento a

generatori elettrici di bordo (motori o unità di potenza ausiliaria).

In alternativa, il velivolo potrebbe essere posizionato di un ambiente riscaldato oppure in un'area desertica. Secondo ulteriori modi di realizzazione, potrebbe essere creata una camera con sacchi sigillati in cui soffiare aria calda attorno alle parti da essiccare, oppure potrebbero essere utilizzate lampade infrarosse.

Una volta eseguito il piano di desorbimento, il sistema di controllo 60 provvede, a seguito di inserimento di un'istruzione di avvenuta esecuzione del piano di desorbimento, ad azzerare il conteggio temporale e a riavviare il metodo sopra descritto, a partire dal passo 102 di attivazione del conteggio temporale. L'istruzione di avvenuta esecuzione del piano di desorbimento può essere inserita in maniera automatica dal sistema di controllo 60 (qualora il piano di desorbimento sia direttamente gestito dal sistema di controllo), oppure può essere inserita da un operatore.

Esempi numerici

In atmosfera standard (media latitudine e media annuale), con spessore di 1mm, si calcola di raggiungere un "incremento del peso per umidità assorbita" del 50% rispetto a quello raggiungibile asintoticamente in ambiente al 100% di umidità, in 2 mesi, o in 200 mesi per

10 mm di spessore.

Se il velivolo è dotato di sistema di riscaldamento integrato (resistenza elettrica che consente un riscaldamento a una temperatura di circa 40°C) si può pensare a essiccazione per 8 ore ogni 48 ore di servizio, e certificazione in condizioni dry (realizzando almeno il 10% di riduzione peso).

Per velivoli supersonici il vantaggio di peso ottenibile potrebbe essere anche maggiore, data la più alta temperatura massima di servizio.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per controllare l'umidità interna in una struttura (1) di materiale composito su un velivolo, detta struttura (1) essendo fatta di materiale composito includente una pila di lamine (10) consolidata con l'applicazione di pressione e calore, in cui ciascuna lamina (10) è fatta di una matrice di resina rinforzata con materiale in fibra, e in cui detta struttura (1) comprende mezzi rilevatori di umidità (30) incorporati nel materiale composito,

in cui detto metodo comprende

- a) avviare un conteggio temporale,
- b) una volta che il conteggio temporale ha raggiunto un valore t pari a un tempo di verifica umidità interna t_v , misurare un valore di umidità interna h_c nella struttura (1) mediante detti mezzi rilevatori di umidità (30),
- c) confrontare il valore misurato di umidità interna h_c con un limite di umidità interna accettabile $h_{c_{max}}$ e, se il valore misurato di umidità interna h_c è maggiore del limite di umidità interna accettabile $h_{c_{max}}$,
 - c.1) emettere un avviso,
 - c.2) definire un piano di desorbimento da eseguire per riportare la struttura (1) entro il limite di umidità interna accettabile $h_{c_{max}}$, detta definizione

comprendendo il calcolo di una temperatura di desorbimento da applicare alla struttura (1) e il calcolo del tempo di desorbimento per il quale sottoporre la struttura (1) a detta temperatura di desorbimento, sulla base di un modello matematico di desorbimento dell'umidità nella struttura (1) considerato a una data umidità relativa ambientale associata a un ambiente di esecuzione del piano di desorbimento, e

c.3) registrare in una memoria (61) la temperatura di desorbimento calcolata e il tempo di desorbimento calcolato,

d) azzerare il conteggio temporale a seguito di inserimento di un'istruzione di avvenuta esecuzione del piano di desorbimento,

e) ripetere i passi da a) a d).

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui detta temperatura di desorbimento è riferita alla struttura (1) o all'ambiente di esecuzione del piano di desorbimento.

3. Metodo secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui il passo c.2) comprende

calcolare una tabella di valori del tempo di desorbimento in funzione di valori della temperatura di

desorbimento e di valori dell'umidità relativa ambientale associata all'ambiente di esecuzione del piano di desorbimento, e

in cui il passo c.3) comprende

registrare nella memoria (61) detta tabella di valori del tempo di desorbimento in funzione dei valori della temperatura di desorbimento e dei valori dell'umidità relativa ambientale associata all'ambiente di esecuzione del piano di desorbimento.

4. Metodo secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui il passo c.2) comprende

calcolare il tempo di desorbimento per il quale sottoporre la struttura (1) a una temperatura di desorbimento di default associata all'ambiente di esecuzione del piano di desorbimento,

confrontare il tempo di desorbimento calcolato con un tempo di riferimento e, se il tempo di desorbimento calcolato è maggiore del tempo di riferimento, aumentare la temperatura di desorbimento a un valore superiore alla temperatura di desorbimento di default.

5. Sistema di controllo comprendente:

un processore, e

una memoria accoppiata al processore per immagazzinare istruzioni che, quando eseguite dal processore, fanno sì che il processore effettui il metodo secondo

una delle rivendicazioni precedenti.

fig.1

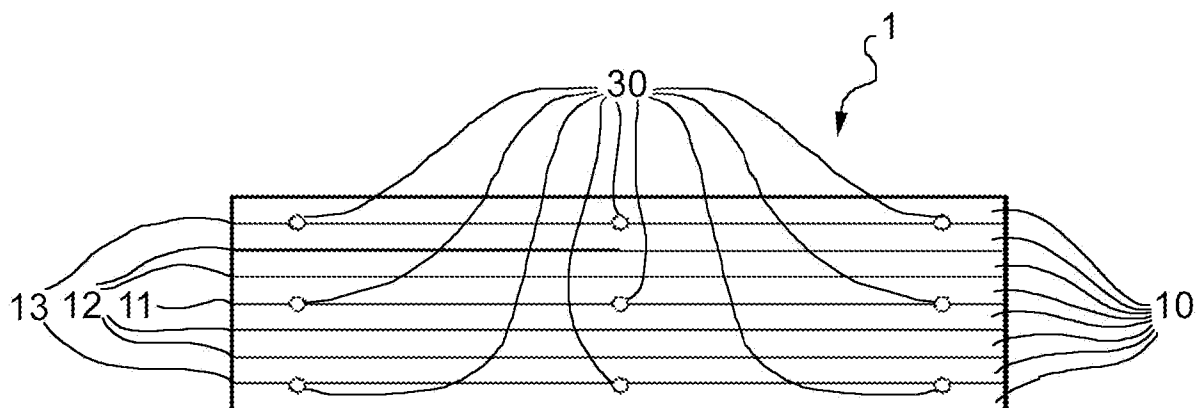
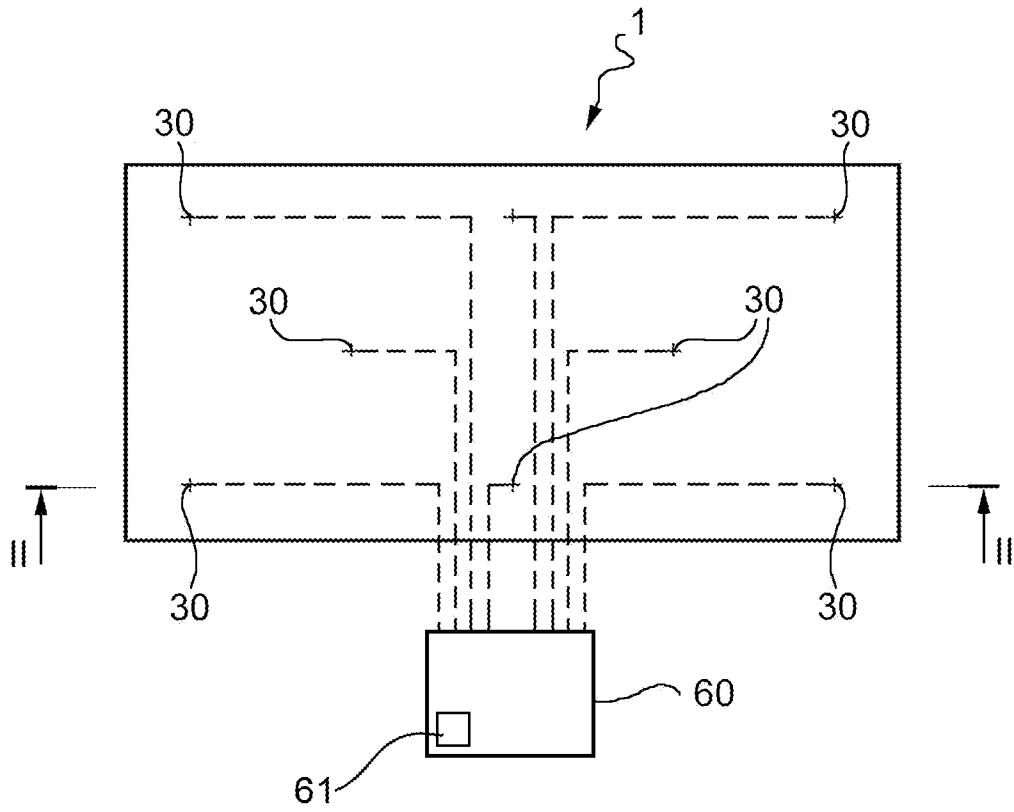


fig.2

fig.3

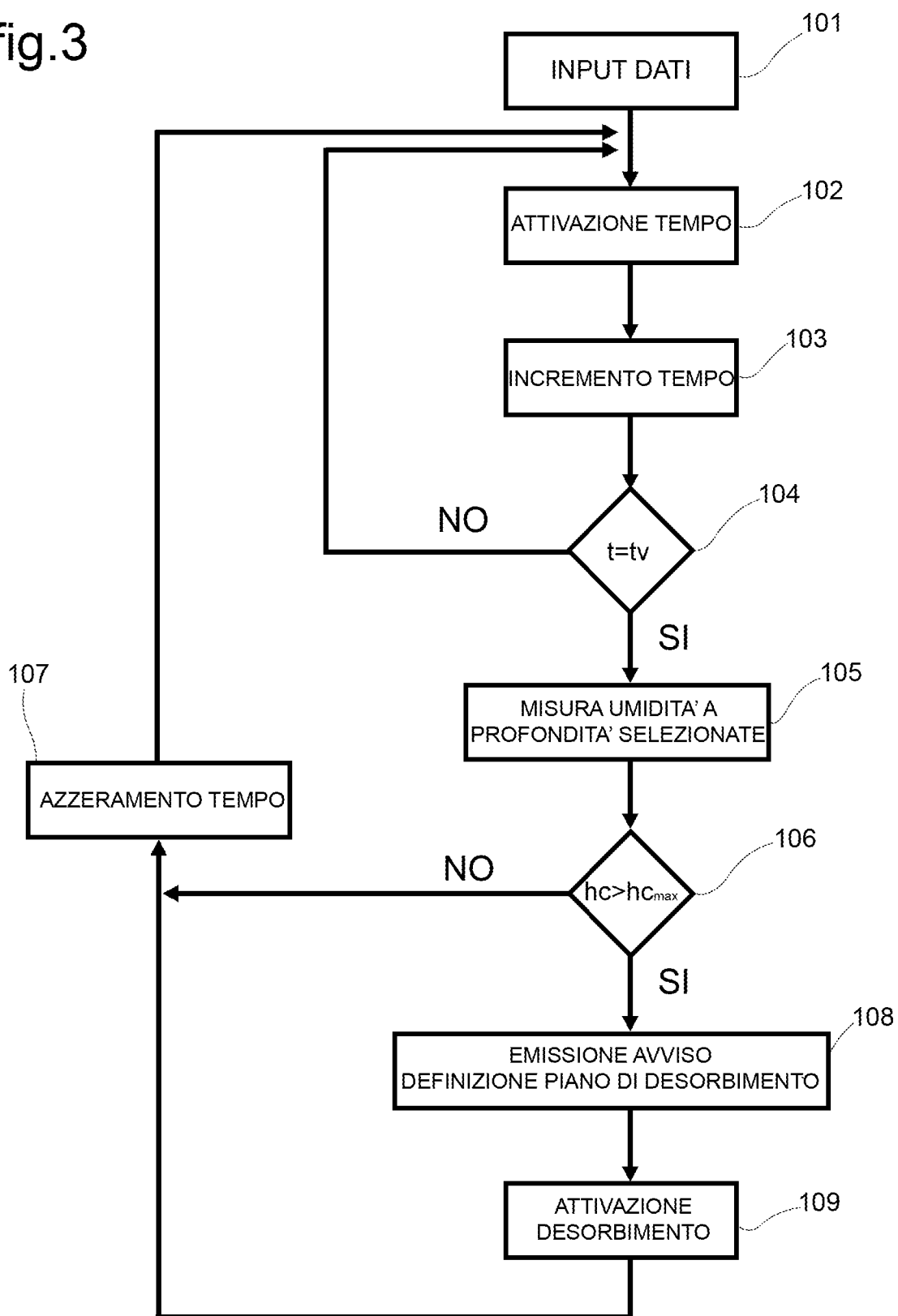


fig.4

