

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102020000007852
Data Deposito	14/04/2020
Data Pubblicazione	14/10/2021

Classifiche IPC

Titolo

METODO DI CONTROLLO DI UN ROBOT TAGLIAERBA MEDIANTE ELABORAZIONE DI VIBRAZIONI

Titolare: VOLTA ROBOTS S.r.l.

**METODO DI CONTROLLO DI UN ROBOT TAGLIAERBA MEDIANTE
ELABORAZIONE DI VIBRAZIONI**

5

DESCRIZIONE

SFONDO TECNOLOGICO DELL' INVENZIONE

Campo di applicazione

La presente invenzione si riferisce in generale al settore del controllo di robot da giardino, per esempio 10 macchine tagliaerba o robot tagliaerba, configurati per operare in modo autonomo o semi-autonomo.

In particolare, l'invenzione riguarda un metodo per identificare automaticamente un'attività indesiderata svolta dal robot tagliaerba e per controllare il 15 tagliaerba di conseguenza confinandolo su un'area erbosa.

In particolare, l'invenzione dischiude un metodo per rilevare una attività indesiderata mediante elaborazione di vibrazioni meccaniche generate in detto ambiente di lavoro e che si propagano attraverso un corpo del robot 20 tagliaerba o attraverso l'aria circostante e rilevate tramite sensori di vibrazioni.

Forma oggetto dell'invenzione anche un sistema che include il robot tagliaerba configurato per attuare il suddetto metodo.

25

Arte nota

Macchinari tagliaerba o robot tagliaerba configurati per operare in modo autonomo, cioè senza la guida di un operatore, sono oggi disponibili in commercio per usi residenziali. Tali robot tagliaerba 5 sono configurati per operare su un'area di lavoro considerata sicura.

In condizioni operative o di lavoro standard, il tagliaerba si muove in un'area di lavoro erbosa in cui, solitamente, almeno una lama rotante del robot stesso è 10 in contatto con l'erba da tagliare.

Nel corso della lavorazione svolta dal robot tagliaerba, una attività indesiderabile o non sicura si concretizza quando il robot tagliaerba si trova su un'area priva di manto erboso (per esempio, su un marciapiede o una strada), oppure una situazione in cui 15 un oggetto diverso dall'erba (per esempio, una radice di una pianta, lo spigolo di una beola, ecc.) viene a contatto con la lama.

Attualmente, per evitare che possano verificarsi 20 tali attività indesiderabili, si ricorre ad una fase di preparazione dell'area di lavoro stendendo un cavo perimetrale alimentato elettricamente che può essere riconosciuto dal robot tagliaerba mediante un rispettivo sensore. Tale cavo perimetrale delimita la zona erbosa 25 in cui il robot può lavorare, oltre a sagomarsi intorno

ad aiuole e cespugli ed escludere zone con pietre e radici.

Tuttavia, la delimitazione dell'area di lavoro mediante stesura del cavo perimetrale risulta un'attività spesso eccessivamente lunga e laboriosa per l'utente. Inoltre, essendo il giardino un ambiente estremamente dinamico ed in continua evoluzione, occorre sovente ripetere l'attività di stesura del cavo perimetrale col susseguirsi delle stagioni, per tener conto di sopravvenute modifiche dell'area di lavoro.

In aggiunta, anche dopo la corretta delimitazione dell'area di lavoro con il filo perimetrale, non è possibile escludere che la lama del robot tagliaerba venga accidentalmente a contatto con oggetti che potrebbero essere danneggiati dalla lama stessa oppure che potrebbero danneggiarla.

Per mitigare almeno in parte questi inconvenienti, i robot tagliaerba attualmente in commercio sono configurati per monitorare la velocità di rotazione della lama e la corrente assorbita dal motore che la movimenta per rilevare eventuali rallentamenti nella velocità di rotazione della lama o sforzi nell'azione di taglio rappresentativi di un possibile contatto della lama con un oggetto estraneo. Tuttavia, poiché anche un regolare taglio dell'erba può alterare

significativamente la velocità di rotazione della lama e lo sforzo di taglio, tale metodologia nota è poco affidabile nel discriminare una condizione di lavoro standard da una attività indesiderabile o poco sicura.

5 Non è, inoltre, possibile escludere che il robot si incastri nei cespugli che possono essere cresciuti oltre il cavo delimitatore durante la stagione vegetativa.

SOMMARIO DELL'INVENZIONE

10 Scopo della presente invenzione è quello di escogitare e mettere a disposizione un metodo ed un relativo sistema per identificare un'attività indesiderabile svolta da un robot tagliaerba e per controllare il robot tagliaerba durante una
15 movimentazione in ambiente di lavoro, in modo da superare almeno parzialmente gli inconvenienti soprammentati in relazione alle metodologie note.

Tale scopo viene raggiunto mediante un metodo di controllo di un robot tagliaerba in accordo con la
20 rivendicazione 1.

In particolare, il metodo dell'invenzione permette di rilevare ed identificare automaticamente un'attività indesiderabile o non sicura svolta dal robot tagliaerba e per controllare il moto del tagliaerba confinandolo su
25 un'area erbosa minimizzando il tempo di contatto tra la

lama ed oggetti diversi dall'erba.

In particolare, l'invenzione dischiude un metodo per rilevare la suddetta attività indesiderabile mediante elaborazione di vibrazioni meccaniche generate 5 nell'ambiente di lavoro e che si propagano attraverso un corpo del robot tagliaerba o attraverso l'aria circostante e rilevate tramite uno o più sensori di vibrazioni.

Nella presente descrizione, i termini 10 "vibrazione", "suono" o "onda meccanica" possono essere utilizzati intercambiabilmente. Si osservi che un "suono" è un'onda meccanica propagata nell'aria. I suoni sono generabili mediante "vibrazioni" di corpi rigidi.

Forme di realizzazione preferite di tale metodo di 15 controllo sono descritte nelle rivendicazioni dipendenti.

Forma altresì oggetto dell'invenzione un sistema in accordo con la rivendicazione 14 che include il robot tagliaerba configurato per attuare il suddetto metodo.

20 BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del metodo di controllo di un robot tagliaerba e del relativo sistema secondo l'invenzione risulteranno dalla descrizione di seguito riportata di esempi preferiti di realizzazione, 25 dati a titolo indicativo e non limitativo, con

riferimento alle annesse figure, in cui:

- la **figura 1** illustra, con un diagramma di flusso, un esempio generale di un metodo per identificare un'attività indesiderabile svolta da un robot tagliaerba e per controllare il robot tagliaerba durante una movimentazione in ambiente di lavoro;
- le **figure 2A-2B**, illustrano, schematicamente, un sistema che include un robot tagliaerba movimentabile in un ambiente di lavoro che implementa il metodo di figura 1;
- la **figura 3** illustra, con un diagramma di flusso, un primo esempio di realizzazione del metodo per controllare il robot tagliaerba della presente invenzione;
- 15 - la **figura 4** illustra, con un diagramma di flusso, un secondo esempio di realizzazione del metodo per controllare il robot tagliaerba della presente invenzione;
- la **figura 5** illustra, con un diagramma di flusso, un terzo esempio di realizzazione del metodo per controllare il robot tagliaerba della presente invenzione;
- 20 - la **figura 6** illustra, con un diagramma di flusso, un quarto esempio di realizzazione del metodo per controllare il robot tagliaerba della presente invenzione;

invenzione;

- le **figure 7A-7B**, illustrano, schematicamente e con un diagramma di flusso, un quinto esempio di realizzazione del metodo per controllare il robot tagliaerba della presente invenzione;

- la **figura 8** illustra, con un diagramma di flusso, un sesto esempio di realizzazione del metodo per controllare il robot tagliaerba della presente invenzione;

10 - le **figure 9A-9B-9C**, illustrano, in funzione del tempo, andamenti di un segnale di vibrazione rilevato tramite accelerometro associato al robot tagliaerba di figura 2B quando il robot tagliaerba opera, rispettivamente, su un manto erboso, sull'asfalto o sul
15 manto erboso e le lame sono venute periodicamente a contatto con oggetti differenti dall'erba;

- le **figure 10A-10H**, illustrano, schematicamente, esempi di attività che possono essere svolte dal robot tagliaerba delle figure 2A-2B e le sorgenti di
20 vibrazioni associabili a ciascuna di esse;

- la **figura 11** illustra un esempio di realizzazione di una fase di classificazione del metodo di figura 1 realizzato impiegando un albero decisionale;

25 - la **figura 12** illustra un esempio di realizzazione di una fase di classificazione del metodo di figura 1

impiegante uno spettrogramma ed una rete neurale addestrata.

Nelle suddette figure elementi uguali o analoghi verranno indicati mediante gli stessi riferimenti numerici.

5 DESCRIZIONE DETTAGLIATA

In riferimento alla figura 1, un metodo per identificare un'attività indesiderabile svolta da un robot tagliaerba 10 e per controllare il robot tagliaerba durante una movimentazione in un ambiente di lavoro in accordo con la presente invenzione è indicato con il riferimento numerico 100.

In generale, quando il robot tagliaerba 10 esce dal manto erboso e inizia a muoversi su un'altra superficie, 15 il modo di vibrare del tagliaerba stesso cambia poiché almeno l'organo di locomozione del tagliaerba, a contatto col terreno, si comporta in modo differente.

Inoltre, quando un robot tagliaerba 10 esce dal manto erboso, anche l'organo di taglio, cioè la lama, che 20 sul manto erboso era tipicamente a contatto con la sommità dei fili d'erba, non emette vibrazioni sulla frequenza caratteristica di taglio in quanto può non essere a contatto con nulla. Tali modalità differenti di vibrare caratterizzano in modo sostanzialmente univoco le 25 condizioni operative di lavoro del robot tagliaerba 10

sul manto erboso ed al di fuori del manto erboso, come illustrato dagli andamenti dei segnali in funzione del tempo delle figure 9A, 9B.

In particolare, la figura 9A raffigura un segnale 5 di vibrazione rilevato tramite accelerometro associato al robot tagliaerba 10, nelle bande 0-100Hz quando il robot tagliaerba opera su manto erboso.

La figura 9B raffigura un segnale di vibrazione rilevato tramite accelerometro, nelle bande 0-100Hz quando il 10 robot tagliaerba 10 opera sull'asfalto (intervallo temporale dal secondo 6 al secondo 34).

La figura 9C raffigura un segnale di vibrazione rilevato tramite accelerometro, nelle bande 0-100Hz quando il robot tagliaerba 10 opera sull'erba, nel caso 15 in cui le lame siano venute a contatto con oggetti differenti dall'erba negli intervalli temporali (in secondi): 10-11, 16-17, 20-21, 25-27, 29-30, 32-33 e 35.

In altre parole, quando un oggetto diverso dall'erba viene a contatto con le lame durante la normale 20 operatività, il rumore caratteristico associato al robot tagliaerba risulta alterato. Ad esempio, a partire dal segnale della figura 9C, è possibile registrare un incremento dell'energia in tutte le bande di frequenza e un corrispondente incremento di energia nelle bande di 25 frequenza superiori ai 60Hz e nella banda 3.000-6.000Hz.

Tali incrementi nella banda 3.000-6.000Hz sono rilevabili, ad esempio mediante un microfono posto nella parte sottostante del robot.

Le suddette condizioni di attività non sicura vengono facilmente identificate anche da un operatore in ascolto, poiché le vibrazioni generate dall'attività del tagliaerba si propagano anche attraverso il mezzo aereo.

Oltre all'uscita dal manto erboso e il contatto della lama con oggetti, le onde meccaniche caratterizzano univocamente anche altre condizioni di attività indesiderabile, tra le quali per esempio: sfregamento del corpo scatolare del robot tagliaerba contro oggetti, ruote che girano a vuoto, erba troppo alta, urti del robot tagliaerba contro superfici rigide, altre vibrazioni non standard. Attraverso un microfono è altresì possibile riconoscere le voci umane e versi di animali domestici che si propagano come onde meccaniche aeree.

Come sarà descritto nel seguito, in accordo con la presente invenzione, a ciascuna delle suddette condizioni di attività indesiderabile o non sicura è associabile una impronta vibrometrica caratteristica, rilevabile e classificabile, a partire dalla quale è possibile intraprendere un'azione correttiva specifica.

In riferimento alle figure 2A-2B, un sistema

comprendente il suddetto robot tagliaerba 10 è indicato nel suo complesso con il riferimento numerico 1000.

Tale robot tagliaerba 10 del sistema 1000 include un opportuno organo di locomozione 201 ed un organo di
5 taglio dell'erba 202.

Il sopra menzionato organo di locomozione 201 include, esemplificativamente, una unità di propulsione alimentata da una rispettiva fonte energetica, una unità sterzante (anche differenziale), una unità di controllo
10 stabilità e di controllo sicurezza e una unità di alimentazione elettrica (ad esempio, una batteria). Inoltre, tale organo di locomozione 201 può anche includere opportune interfacce di comunicazione di ingresso/uscita (input/output) per la ricezione di
15 segnali di comando e la restituzione di segnali indicativi della movimentazione.

L'organo di taglio dell'erba 202 include una o più lame, per esempio lame circolari, movimentabili attraverso un rispettivo motore, ed ulteriori interfacce
20 di comunicazione di ingresso/uscita (input/output) per la ricezione di segnali di comando e la restituzione di segnali indicativi della lavorazione eseguita.

Inoltre, il sistema 1000 comprende uno o più sensori di vibrazioni 203 atti ad acquisire almeno una
25 vibrazione meccanica generata in detto ambiente di lavoro

e che si propaga attraverso il corpo del robot tagliaerba o attraverso l'aria circostante. Tali sensori di vibrazioni si concretizzano, per esempio, in uno o più microfoni e/o accelerometri e/o giroscopi.

5 Tali sensori di vibrazioni 203 sono ad esempio sensori MEMS (Micro ElectroMechanical Systems), come ad esempio l'accelerometro e giroscopio "LSM6DSOX" di ST Microelectronics o il microfono "VM1000" di Vesper Technologies.

10 Il sistema 1000 comprende, inoltre, una unità elettronica di elaborazione 204 collegata ai mezzi di acquisizione di vibrazioni 203 ed ai sopra menzionati organo di locomozione 201 e organo di taglio dell'erba 202.

15 In maggior dettaglio, l'unità elettronica di elaborazione 204 comprende almeno un processore 205 ed un blocco di memoria 206, 207 associato al processore per l'immagazzinamento di istruzioni. In particolare, tale blocco di memoria 206, 207 è collegato al processore 205 attraverso una linea o bus di comunicazione dati 211 (ad esempio PCI) ed è costituito da una memoria di servizio 206, di tipo volatile (es. di tipo SDRAM), e da una memoria di sistema 207 di tipo non volatile (es. di tipo SSD o eMMC).

25 In maggior dettaglio, tale unità elettronica di

elaborazione 204 comprende mezzi di interfaccia di input/output 208 collegati all' almeno un processore 205 e al blocco di memoria 206, 207 attraverso il bus di comunicazione 211 per consentire ad un operatore prossimale al sistema 1000 di interagire direttamente con l' unità di elaborazione stessa.

Inoltre, l' unità elettronica di elaborazione 204 è associata ad una interfaccia di comunicazione dati di tipo con o senza fili (wireless), non mostrata in figura 2A, configurata per collegare tale unità di elaborazione 204 ad una rete di comunicazione dati, per esempio la rete Internet, per consentire ad un operatore di interagire con l' unità di elaborazione 204 da remoto o per ricevere aggiornamenti.

In riferimento alla figura 1, di seguito sono descritte in maggior dettaglio le fasi operative del metodo di controllo 100 di un robot tagliaerba sulla base di una elaborazione di vibrazioni implementato attraverso il sistema 1000.

In un esempio di realizzazione, l' unità elettronica di elaborazione 204 del sistema 1000 è predisposta per eseguire i codici di un programma applicativo che implementa il metodo 100 della presente invenzione.

In un esempio di realizzazione particolare, il processore 205 è configurato per caricare, nel blocco di

memoria 206, 207, ed eseguire i codici del programma applicativo che implementa il metodo 100 della presente invenzione.

Si osservi che durante l'operatività del robot, le 5 vibrazioni sono costantemente rilevate, processate e classificate per giungere a una predizione dell'attività corrente 11 svolta dal robot tagliaerba 10. In seguito, in base a tale predizione di attività, vengono inviati 12 segnali di controllo all'organo di locomozione 201 o 10 all'organo di taglio dell'erba 202. Come illustrato nei dettagli che seguono, le fasi 11 e 12 del metodo sono strettamente interconnesse tra loro e interdipendenti, rendendo l'invenzione unitaria e specifica al contesto applicativo.

15 Il metodo di figura 1 comincia con una fase simbolica di inizio "Start" e si conclude con una fase simbolica di fine "End".

Nell'esempio di realizzazione più generale, il metodo di controllo 100 comprende una prima fase di 20 rilevazione 111 di almeno una vibrazione meccanica VIB, attraverso i suddetti uno o più sensori di vibrazioni 203 per generare almeno un segnale elettrico S rappresentativo della almeno una vibrazione meccanica.

Secondo una forma realizzativa preferenziale, il 25 segnale S è un segnale digitale; il sensore di vibrazioni

203 inizialmente traduce le vibrazioni meccaniche in un segnale elettrico analogico, ad esse proporzionale. Tale segnale viene acquisito e digitalizzato con una risoluzione temporale data dal periodo di campionamento 5 del segnale analogico e una risoluzione in ampiezza data dal numero di bit con cui viene codificato ciascun campionamento.

Successivamente, il metodo 100 comprende una fase di processamento 112, mediante una unità elettronica di 10 elaborazione 204, dell'almeno un segnale elettrico S generato per estrarre almeno una caratteristica di detto segnale S per generare un'impronta vibrometrica del segnale.

In altre parole, il segnale digitale S viene 15 processato per estrarre una o più caratteristiche del segnale in un ridotto intervallo di tempo che include una pluralità di campionamenti. Si ottiene, pertanto, al termine della fase di processamento 112, una impronta vibrometrica ovvero un sommario sintetico, generato in modo deterministico, di alcune caratteristiche della 20 vibrazione che potrà poi essere usato per classificare la vibrazione stessa.

Le tecniche di processamento di un segnale acustico possono, ad esempio, includere la valutazione 25 dell'energia del segnale in una determinata banda, lo

"zero crossing rate", l'estrazione dei toni principali, il filtraggio di una o più bande, il calcolo dell'entropia di Wiener. Una tecnica comunemente utilizzata per il processamento del segnale acustico è 5 il calcolo dello spettrogramma, ottenibile tramite Fast Fourier Transform (FFT), che rappresenta visualmente come variano sia la frequenza sia l'ampiezza (intensità) nel tempo di tale segnale. La selezione di una o più bande può essere eseguita mediante un filtro passa-banda 10 nella fase 112.

Inoltre, il metodo 100 comprende una fase di classificazione 113 di tale impronta vibrometrica generata per ricavare un identificativo di classe IC associato all'impronta vibrometrica. Tale identificativo 15 di classe può assumere un primo valore indicativo di un'attività desiderabile svolta dal robot tagliaerba 10 oppure un secondo valore indicativo di un'attività non desiderabile o non sicura.

Per esempio, una modalità di classificazione 20 impiegabile nel metodo 100 prevede il confronto dell'energia del segnale in una certa banda di frequenze con un valore soglia; in altre parole, due attività distinte sono discriminate da almeno una soglia.

Possono essere utilizzate anche diverse soglie in 25 successione, su bande diverse, per distinguere nel

dettaglio varie attività diverse tra loro, formando quindi degli alberi decisionali. Le condizioni discriminanti ai nodi degli alberi decisionali possono essere impostate manualmente oppure apprese da un 5 elaboratore, mediante opportune tecniche di "machine learning".

Sempre con tecniche di "machine learning" possono essere addestrati altri classificatori più complessi, ad esempio reti neurali. In un esempio di realizzazione 10 preferenziale, è possibile impiegare una rete neurale convoluzionale (CNN), avente come layer di ingresso (input) una porzione temporale di spettrogramma, e configurata per realizzare convoluzioni su di esso. In particolare la Richiedente ha verificato che le reti 15 neurali DS-CNN (Depthwise Separable Convolutional Neural Network), note all'esperto del settore, sono particolarmente efficaci allo scopo di distinguere in modo accurato le diverse attività, in modo robusto a perturbazioni esterne e rumori di fondo. 20 Alternativamente, l'impiego di reti neurali ricorrenti (RNN) come classificatore del segnale temporale possono rivelarsi altrettanto robuste in un'ampia varietà di ambienti di lavoro.

Il metodo 100 dell'invenzione prevede una fase di 25 generazione 121 di almeno un segnale di controllo SC

dell'organo di locomozione 201 o dell'organo di taglio dell'erba 202 quando il suddetto identificativo di classe IC assume il secondo valore, cioè una attività non desiderabile, per riportare il robot tagliaerba 10 in una 5 condizione di attività desiderabile.

In altre parole, l'uscita della fase di classificazione 113 costituisce la predizione dell'attività corrispondente alle vibrazioni rilevate, distinguendo almeno due classi di attività 120. Nella 10 forma realizzativa più semplice le due classi sono attività desiderabile e non desiderabile. Forme realizzative più sofisticate permettono di distinguere anche più tipologie di attività non desiderabile, permettendo un controllo più specifico alla classe di attività rilevata. 15

Nel caso in cui l'attività predetta sia una attività non desiderabile, secondo l'esempio di figura 1, il metodo prevede l'invio di almeno un'istruzione correttiva 121 all'organo di locomozione 201 o 20 all'organo di taglio dell'erba 202.

In riferimento all'esempio di realizzazione della figura 3, il secondo valore dell'identificativo di classe IC può includere una pluralità di secondi valori ciascuno indicativo di un'attività non desiderabile e 25 associato ad uno di una pluralità di sequenze di segnali

di controllo. In tal caso, il metodo 100 prevede che la fase di generazione 121 di un segnale di controllo per il robot tagliaerba 10 comprende le fasi di:

- selezionare 1211 una sequenza di segnali di controllo tra le sequenze di segnali di controllo di tale pluralità;
- rendere disponibile 1212 la sequenza di segnali di controllo selezionata all'organo di locomozione 201 o all'organo di taglio dell'erba 202 per riportare il robot tagliaerba 10 in una condizione di attività desiderabile.

È possibile che la predizione della fase 11 del metodo 100 non sia sufficientemente accurata, ad esempio a causa di interferenze esterne, ad esempio vibrazioni generate da macchinari operanti in prossimità del robot tagliaerba 10.

In tal caso, la presente invenzione rende disponibile un metodo per aumentare la confidenza di tale predizione.

20 In riferimento all'esempio di realizzazione di figura 4, la sopra menzionata fase di generare comprende una fase di generare 121a un segnale di controllo di test SCT dell'organo di locomozione 201 o dell'organo di taglio dell'erba 202, quando un rispettivo identificativo di classe ICa assume il secondo valore

indicativo di un'attività non desiderabile. Tale segnale di test SCT ha lo scopo di annullare almeno la presunta causa di vibrazioni indicativa di attività non desiderabile classificata ICa.

5 Le fasi 111a, 112a, 113a e 120a corrispondono alle fasi 111, 112, 113, 120 del metodo di figura 1, rispettivamente.

Inoltre, il metodo comprende le fasi di:

- rilevare 111b una ulteriore vibrazione meccanica, attraverso i suddetti uno o più sensori di vibrazioni 203 per generare un ulteriore segnale elettrico S' rappresentativo della ulteriore vibrazione meccanica;

- processare 112a, mediante l'unità elettronica di elaborazione 204, l'ulteriore segnale elettrico S' generato per estrarre almeno una caratteristica di detto segnale S' per generare una ulteriore impronta vibrometrica;

- classificare 113b l'ulteriore impronta vibrometrica generata per ricavare un ulteriore identificativo di classe ICb associato all'ulteriore impronta vibrometrica.

Il metodo comprende, inoltre, le seguenti fasi alternative:

- quando l'ulteriore identificativo di classe ICb assume il primo valore indicativo di un'attività

desiderabile, significa che il test è andato a buon fine
e che quindi il segnale SCT ha effettivamente annullato
le vibrazioni che causano ICa e che quindi la confidenza
circa la predizione ICa è molto alta. In tal caso, si
5 genera, fase 121b, un ulteriore segnale di controllo
dell'organo di locomozione 201 o dell'organo di taglio
dell'erba 202; secondo una forma realizzativa
preferenziale, tale ulteriore segnale di controllo è
specifico per ICa, che è stata confermata a valle del
10 test;

- quando l'ulteriore identificativo di classe ICb
assume il secondo valore indicativo di un'attività non
desiderabile svolta dal robot tagliaerba 10, si genera
una segnalazione 122b. In tal caso, nonostante ci si
15 aspettasse che il segnale di test SCT potesse annullare
la causa delle vibrazioni classificate ICa, tali
vibrazioni sono rimaste anche a valle di tale segnale di
test SCT, e rilevate con l'identificativo di classe ICb.
Pertanto, la diagnosi di ICa non è stata svolta
20 correttamente.

In altre parole, in riferimento al diagramma di
flusso di figura 4, anziché inviare subito l'azione
correttiva 121 come nella forma generale del metodo 100
di figura 1, vengono eseguite due predizioni in
25 successione 11a e 11b.

Dopo la prima predizione 11a, viene inviato un comando di test 121a allo scopo di verificare che effettivamente la presunta causa di attività non desiderabile predetta da 11a, sia stata effettivamente risolta.

- 5 Se ad esempio la fase 11a predice il movimento su una superficie non erbosa, il comando di test 121a potrebbe essere "interrompere il moto". Se invece, ad esempio, la fase 11a predice le lame a contatto con corpi rigidi non erbosi, il comando di test 121a potrebbe essere "arresto
10 delle lame".

Una seconda predizione 11b viene effettuata a comando di test eseguito. Lo scopo di questa successiva predizione 11b è verificare la correttezza della prima predizione 11a. Se l'attività predetta è tornata ad essere sicura, allora la prima predizione 11a si è rivelata esatta, e si può procedere con l'esecuzione dei comandi correttivi 121b relativi a tale prima predizione.

Si osservi che i comandi correttivi 121b si aggiungono ai comandi di test 121a, e da essi, in genere, differiscono. Infatti, mentre i comandi di test hanno il solo scopo di interrompere la presunta sorgente di vibrazioni anomale secondo quanto predetto da 11a, i comandi correttivi sono sequenze di istruzioni in genere più complesse, che riportano il robot tagliaerba 10 in

una condizione di lavoro desiderabile.

Questo metodo di figura 4 si può integrare col metodo di figura 3 per un più completo funzionamento, ovvero si possono inviare istruzioni sia di test sia 5 correttive specifiche per la classe ICa di attività non desiderabile. Se, ad esempio, viene predetto nella fase 11a che la lama 202 è a contatto con corpi rigidi non erbosi, il comando di test potrebbe essere "arresto delle lame"; se a valle del suddetto comando di test 10 l'attività predetta con 11b è ora sicura, allora vengono inviate istruzioni correttive che prevedono ad esempio un allontanamento dalla zona di lavoro corrente mantenendo le lame ferme per poi riaccenderle quando il robot si è adeguatamente allontanato.

15 Nel caso in cui la predizione 11b sia di un'attività insicura nonostante l'esecuzione del comando di test, significa che la prima predizione 11a, non era corretta. Pertanto, si rende necessario gestire tale incongruenza tra le due predizioni.

20 In riferimento all'esempio di realizzazione di figura 5, quando l'identificativo di classe IC assume il secondo valore indicativo di un'attività non desiderabile svolta dal robot tagliaerba 10, dopo la fase di generare un segnale di controllo SC dell'organo 25 di locomozione 201 o dell'organo di taglio dell'erba

202, il metodo comprende, inoltre, una fase di ripetere in successione, fase 11c, le fasi di:

- rilevare 111 almeno una vibrazione meccanica per generare almeno un segnale elettrico S rappresentativo della almeno una vibrazione meccanica;
- processare 112 detto almeno un segnale elettrico S generato per estrarre almeno una caratteristica di tale segnale S per generare un'impronta vibrometrica del segnale;
- 10 - classificare 113 l'impronta vibrometrica generata per ricavare un identificativo di classe IC associato all'impronta vibrometrica;
- generare 121c almeno un segnale di controllo SC dell'organo di locomozione 201 o dell'organo di taglio 15 dell'erba 202 quando detto identificativo di classe IC assume il secondo valore.

Tali fasi sono ripetute fino a quando l'identificativo di classe IC torna ad assumere il primo valore indicativo di un'attività desiderabile svolta dal robot tagliaerba 10.

In altri termini, almeno una terza predizione di attività 11c viene eseguita durante il compimento dell'azione correttiva per verificarne il corretto compimento. Durante l'azione correttiva 121c le 25 vibrazioni vengono costantemente monitorate e l'inizio

di un'attività desiderabile o sicura costituisce la condizione di termine dell'azione correttiva.

Il metodo di figura 5 si può integrare col metodo di figura 4 per un più completo funzionamento, ovvero si 5 possono far perdurare azioni correttive specifiche per la classe ICa di attività non desiderabile sopra menzionata.

Se ad esempio la predizione è di un'attività su una superficie non erbosa, l'azione correttiva potrebbe 10 essere muoversi a lame ferme fino a raggiungere un'area erbosa. Durante la movimentazione, l'attività predetta è comunque insicura, fintanto che il robot tagliaerba 10 non rientra all'interno di un'area erbosa, terminando dunque l'invio dei comandi correttivi.

15 Un altro esempio potrebbe riguardare l'altezza del taglio: se viene classificato che il robot 10 sta tagliando l'erba ad una altezza troppo bassa, i comandi correttivi potrebbero consistere nell'aumentare progressivamente la distanza delle lame dall'erba, cioè 20 allontanandole in direzione ortogonale al terreno, in modo che la porzione di erba tagliata risulti minore. Le lame verranno allontanate fino a quando verrà rilevata attività non desiderata.

Viceversa, se il robot tagliaerba 10 rileva che le lame 25 non sono a contatto con l'erba (pur trovandosi su una

superficie erbosa) allora il comando correttivo prevede di ridurre la distanza delle lame dall'erba, cioè abbassandole in direzione ortogonale al terreno, fintanto che esse non vengono a contatto con gli steli 5 d'erba, generando quindi la vibrazione desiderata, rilevata, processata e classificata come tale.

In riferimento all'esempio di realizzazione della figura 6, il metodo 500 dell'invenzione permette di utilizzare efficacemente più segnali S₁, S₂, ..., S_N 10 provenienti da diversi sensori di vibrazione 203, mediante l'affiancamento delle rispettive impronte vibrometriche ed alla rispettiva classificazione.

I sensori 203 possono misurare vibrazioni di mezzi differenti, possono essere cioè microfoni e/o 15 accelerometri e/o giroscopi. Inoltre, i sensori 203 possono essere posizionati in punti diversi del corpo del robot tagliaerba 10.

In aggiunta, i sensori 203 possono essere identici tra loro e moltiplicati per garantire ridondanza e 20 robustezza ai guasti oppure possono essere orientati in modo differente tra loro. Nel caso di microfoni o array di microfoni possono essere orientati in specifiche direzioni, anche mediante tecniche di Beamforming note all'esperto del settore.

25 I diversi sensori 203 possono avere sensibilità in

diverse bande di frequenza.

I sensori di vibrazione 203, congiuntamente, catturano le vibrazioni del robot tagliaerba 10. Ciascuna vibrazione viene rilevata 111 e digitalizzata 5 secondo quanto già descritto. Ciascun segnale digitale S₁, S₂, ..., S_N viene processato 112 per estrarre una o più caratteristiche del segnale ottenendo l'impronta vibrometrica di ciascuno di essi secondo tecniche già descritte in termini generali per il caso descritto in 10 riferimento alla figura 1. Tali impronte vibrometriche vengono unite o combinate tra loro in una successiva fase di unione 1121.

In particolare, se ciascuna impronta vibrometrica è un numero (ad esempio l'energia del segnale) l'unione 15 delle impronte vibrometriche è un array (ad esempio un array di energie).

Se ciascuna impronta vibrometrica è un array (ad esempio le energie in determinate bande) allora l'unione è un array o una matrice (che esprime l'energia in ciascuna 20 banda di ciascun sensore).

Se ciascuna impronta vibrometrica è uno spettrogramma (matrice 3D tempo-frequenza-intensità) in un dato intervallo temporale, l'unione degli spettrogrammi è uno spettrogramma 4D ottenuto sovrapponendo gli 25 spettrogrammi 3D, ovvero uno spettrogramma configurato

per evidenziare tempo-frequenza-intensità-IDsensore per ciascun sensore 203.

In riferimento alla figura 6, il metodo 500 dell'invenzione comprende le fasi di:

- 5 - rilevare 111, da parte di ciascun sensore 203 della pluralità di sensori di vibrazione, una vibrazione meccanica VIB1, VIB2, ..., VIBn per generare una pluralità di segnali elettrici S1, S2, ..., Sn rappresentativi di tali vibrazioni meccaniche;
- 10 - processare 112, mediante l'unità elettronica di elaborazione 204, detta pluralità di segnali elettrici S1, S2, ..., Sn generati per estrarre almeno una caratteristica dei segnali per generare una pluralità di impronte vibrometriche ciascuna corrispondente ad uno di tali segnali;
- eseguire una operazione di unione 1121 della pluralità di impronte vibrometriche per generare una prima impronta vibrometrica rappresentativa dell'unione delle impronte vibrometriche della pluralità;
- 20 - classificare 113 la prima impronta vibrometrica per ricavare un rispettivo identificativo di classe IC1 associato alla prima impronta vibrometrica, detto identificativo di classe potendo assumere un primo valore indicativo di un'attività desiderabile svolta dal robot tagliaerba 10 oppure almeno un secondo valore indicativo

di un'attività non desiderabile;

- generare 121 almeno un segnale di controllo SC dell'organo di locomozione 201 o dell'organo di taglio dell'erba 202 quando detto identificativo di classe IC1 5 assume il secondo valore, indicativo di attività non desiderabile, per riportare il robot tagliaerba 10 in una condizione di attività desiderabile.

In accordo con una ulteriore variante del metodo 100, in riferimento alle figure 7A-7B, il robot 10 tagliaerba 10 comprende mezzi di acquisizione di immagini digitali 60, per esempio una o più telecamere.

In particolare, tali una o più telecamere 60 possono essere configurate per acquisire immagini digitali di una porzione di terreno antistante il robot 15 tagliaerba 10 e lo stesso robot è equipaggiato con un algoritmo di machine-vision di tipo noto per riconoscere eventuali ostacoli o zone non traversabili.

In un differente esempio di realizzazione, tali telecamere 60 sono configurate per riprendere l'intero 20 ambiente in cui si muove il robot tagliaerba 10, cioè sono orientabili in direzioni diverse e non puntano necessariamente sul terreno antistante il robot 10.

La figura 7a raffigura la telecamera 60 orientata verso il terreno antistante il robot tagliaerba 10, 25 tuttavia, ulteriori varianti di sistema prevedono che la

telecamera possa essere orientata in una qualunque altra direzione senza pregiudicare la capacità del robot 10 di prevedere l'imminente inizio di una attività non desiderabile per via visuale. Ad esempio, la telecamera 5 60 potrebbe essere rivolta verso l'alto ed il robot 10 potrebbe riconoscere di essere arrivato in prossimità di una zona con radici riconoscendo le chiome degli alberi sovrastanti. Una ulteriore variante prevede che il robot 10 possa riconoscere il raggiungimento di una determinata localizzazione caratterizzata da attività 10 non desiderabile, mediante la triangolazione visuale di oggetti di riferimento noti visibili nell'ambiente circostante.

Ai fini della presente trattazione, si osservi che 15 mediante tecniche di machine-vision è possibile eseguire una predizione visuale di una attività non desiderabile svolta dal robot tagliaerba 10 prima che essa avvenga. Ad esempio, è possibile predire visualmente la fine del manto erboso prima che il robot 10 esca dallo stesso, 20 come mostrato in figura 7A. Oppure, è possibile eseguire una predizione visuale che il robot tagliaerba 10 si sta addentrando in una zona impervia con radici nascoste riconoscendo visualmente la specifica localizzazione del robot nell'ambiente di lavoro.

25 In particolare, in riferimento al diagramma di

figura 7B, il metodo 100 dell'invenzione comprende le fasi di:

- acquisire una o più immagini digitali di una porzione dell'ambiente di lavoro in cui è movimentabile
5 il robot tagliaerba 10 posta a distanza prefissata d dal robot tagliaerba;
- generare, ad un primo istante di tempo t1, sulla base di dette una o più immagini digitali acquisite, un ulteriore identificativo rappresentativo di una predizione visiva di un'attività desiderabile o non desiderabile che verrà svolta dal robot tagliaerba 10 ad 10 un secondo istante tempo t2 successivo al primo istante, dove $t_2=t_1+\Delta t$;
- memorizzare detto ulteriore identificativo in una ulteriore memoria 115 del robot tagliaerba 10.
15

In tale secondo istante di tempo t2, la fase di classificazione comprende una fase di classificare 113m sia l'impronta vibrometrica generata da almeno una vibrazione meccanica rilevata attraverso i suddetti uno 20 o più sensori di vibrazioni 203 nel secondo istante di tempo t2, sia l'ulteriore identificativo generato nel primo istante di tempo t1.

A differenza della predizione vibrometrica, che predice la classe di attività una volta che il robot tagliaerba 10 la sta compiendo, la predizione basata 25

sulla visione permette di anticipare ulteriormente la predizione di un intervallo temporale Δt dato dalla distanza d del robot dal punto previsto inizio attività non desiderabile o non sicura diviso per la velocità v

5 di avanzamento del robot secondo la formula: $\Delta t = d/v$.

In altre parole, una determinata previsione fatta per via visuale si manifesta per via vibrometrica dopo un intervallo temporale Δt . La figura 7A mostra un esempio di intervallo Δt per una telecamera 60 puntata verso il

10 terreno, tuttavia le stesse considerazioni possono essere applicate anche ad una telecamera rivolta in qualsiasi altra direzione e con una qualsiasi ampiezza di campo visivo.

La soluzione proposta permette di memorizzare

15 temporaneamente in una ulteriore memoria 115 o buffer le predizioni ottenute dal sistema di visione, per poi poterle estrarre dopo un intervallo di tempo Δt e poter eseguire alcune operazioni utili a particolari forme realizzative della presente invenzione.

20 Nella forma realizzativa illustrata in figura 7B, le predizioni eseguite attraverso i mezzi di acquisizione di immagini digitali, e memorizzate nel buffer 115, vengono classificate insieme alle impronte vibrometriche, irrobustendo così la capacità di

25 classificazione del sistema 1000 complessivo.

Se ad esempio la fase di classificazione 113 impiega un classificatore costituito da un albero decisionale 113DT, come mostrato in figura 11, come sarà seguito dettagliato, è possibile che ad una certa 5 diramazione sia preferibile utilizzare la predizione visuale in modo da poter discriminare situazioni che possono essere simili tra loro dal punto di vista della rilevazione delle vibrazioni, ma tra loro molto dissimili dal punto di vista della rilevazione visiva 10 con telecamere 60.

I dati provenienti dal classificatore visuale potrebbero essere discordi dai dati verificati mediante vibrazione. In tale situazione risulta, pertanto, vantaggioso salvare tali dati discordanti in un 15 database, che potrà essere utilizzato successivamente per riaddestrare il classificatore visuale.

In riferimento al diagramma di flusso di figura 8, in un ulteriore esempio di realizzazione, il metodo dell'invenzione comprende, in aggiunta alle fasi 20 descritte in riferimento alla figura 7B, le fasi di:

- confrontare l'identificativo di classe IC associato all'impronta vibrometrica generata nel secondo istante di tempo t2 con il suddetto ulteriore identificativo rappresentativo di una predizione visiva di un'attività 25 desiderabile o non desiderabile associata al primo

istante di tempo t1;

- modificare l'identificativo rappresentativo della predizione visiva in seguito alla rilevazione che

l'identificativo di classe IC assume il secondo valore

5 indicativo di un'attività non desiderabile svolta dal robot tagliaerba 10 e l'ulteriore identificativo assume un valore indicativo di una attività desiderabile;

- memorizzazione in un database 13 di tale rilevazione della classificazione discordante.

10 In altre parole, le predizioni del sistema di visione, memorizzate in un buffer 115, vengono confrontate con l'attività ricavata dal sistema vibrometrico. Se il sistema di visione ha predetto un'attività desiderabile laddove il metodo vibrometrico
15 11 ha invece riscontrato un'attività non desiderabile, allora viene memorizzato in un database 13 la corretta classificazione dell'immagine.

Si osservi che è possibile memorizzare anche le discordanze reciproche, ovvero quelle in cui il sistema
20 di visione ha predetto un'attività non desiderabile mentre il sistema vibrometrico ha rilevato essere desiderabile. Tuttavia, affinché ciò avvenga, il sistema è programmabile per avventurarsi in aree che il sistema di visione ritiene essere caratterizzate da attività non
25 desiderabile, per poi eventualmente rilevare che così non

si tratta.

Si osservi, inoltre, che anche questa ulteriore variante si applica a prescindere dallo specifico orientamento della telecamera 60.

5 Il database 13 contiene le immagini che il sistema di visione ha ritenuto essere anticipatorie di attività desiderabili e che invece si sono rivelate predittive di collocazioni indesiderabili. La disponibilità del database 13 è condizione indispensabile per
10 riaddestrare, in locale o in remoto, il sistema di visione e permettergli di anticipare attività non desiderabili.

ESEMPI

In riferimento alle figure 10A-10H sono descritti
15 esempi di attività svolte dal robot tagliaerba 10 e le azioni correttive eseguite impiegando il metodo di controllo 100 dell'invenzione in seguito alla discriminazione che le suddette attività sono non desiderabili.

20 L'attività raffigurata in figura 10A è una attività desiderabile in quanto il robot 10 avanza su manto erboso e l'organo di taglio dell'erba 202, cioè la lama, è a contatto con una adeguata porzione dei fili d'erba. Pertanto, in accordo col metodo 100, l'attività
25 viene costantemente monitorata attraverso i sensori di

vibrazione 203, ma non viene intrapresa alcuna azione correttiva.

Nel caso in cui venisse rilevata un'attività non desiderabile, ad esempio una tra quelle mostrate nelle 5 figure 10B, 10C, 10D, 10E, 10F, 10G, 10H, si procede con l'invio di un segnale di test SCT, fase 121a e di un segnale correttivo SC, fase 121b.

Ad esempio, l'attività 10B non è desiderabile in quanto il robot tagliaerba 10 ha abbandonato la 10 superficie erbosa e procede su superficie non erbosa. Le vibrazioni sono generate dalla ruota anteriore 10' del robot 10 che rigidamente rimbalza tremando, e dalla ruota posteriore 10'', a forma dentata. Le vibrazioni generate si propagano meccanicamente attraverso il corpo 15 del robot tagliaerba 10 e acusticamente nel mezzo aria.

La classificazione 11 tra moto su superficie erbosa o meno, può essere ottenuta mediante un solo accelerometro 203 monodirezionale che rileva vibrazioni nella banda compresa tra 0 Hz e 100Hz. Tale accelerometro 203 è 20 posto in prossimità della ruota anteriore 10' e orientato lungo l'asse verticale del robot. Il segnale S viene acquisito 111 con frequenza di campionamento di 200Hz. Secondo una forma realizzativa semplificata, la fase di processamento 112 prevede il calcolo 25 dell'energia del segnale S su 256 campioni consecutivi

del segnale, ovvero per 1,28 secondi, nella banda di frequenze comprese tra 10 e 14Hz. Da notare che in 1,28 secondi un normale robot tagliaerba 10 avanza di circa 40 cm.

5 Tale energia del segnale S in banda viene confrontata nella fase di classificazione, con una soglia posta a 5000. Se l'energia del segnale S è inferiore a tale soglia, allora viene classificata attività di moto su manto erboso, altrimenti si tratta di moto su superficie
10 non erbosa.

Una volta riconosciuta la specifica attività non desiderabile di moto su superficie non erbosa mediante la fase 11 (si veda la figura 1) viene selezionato 1211 il segnale di controllo più adeguato secondo la figura 15 3. Nello specifico, adottando il metodo di figura 4, viene inviato dapprima uno specifico segnale di test 121a SCT per la specifica attività riconosciuta, ovvero fuoriuscita dal manto erboso. In particolare, il segnale di test SCT potrebbe consistere nell'arresto del moto 20 del robot tagliaerba 10. Quando il robot 10 è fermo, l'attività viene dunque classificata desiderabile, confermando che la causa delle vibrazioni era proprio il moto del tagliaerba su una superficie non erbosa.

Una volta confermata la classificazione, viene 25 selezionata una specifica sequenza di azioni correttive

121b con almeno un segnale SC di controllo. Tale sequenza di azioni correttive porta a una inversione del verso di moto del robot tagliaerba 10 per ritornare sull'area erbosa. Tale inversione può essere fatta 5 mediante un'unica istruzione di retromarcia, o alternativamente mediante istruzioni in sequenza, per esempio una rotazione di 180 gradi ed una fase di marcia in avanti.

In entrambi i casi, fintanto che il robot 10 è movimentato per ritornare su una superficie erbosa, 10 l'attività viene costantemente classificata come non desiderabile. Pertanto, viene implementato il metodo di figura 5, che fa persistere la durata della marcia (o retromarcia) fintanto che viene classificata l'attività 15 non desiderabile di moto al di fuori dal manto erboso. La condizione per uscire dalla fase 12c è il riconoscimento dell'attività desiderabile ovvero di moto su manto erboso.

L'attività di figura 10C non è desiderabile in quanto le lame 202 del robot tagliaerba 10 sono a contatto con un oggetto. Le lame sono soggette a periodici scontri con l'oggetto stesso, in particolare alla frequenza di rotazione delle lame stesse, generando periodici aumenti di energia, sostanzialmente, in tutte 25 le bande di frequenze. In tal caso, a valle di una prima

classificazione ICa, è opportuno impiegare come segnale di test SCT o come primo segnale di controllo correttivo, un segnale di interruzione del moto delle lame 202.

5 Questa azione può essere accompagnata da un arresto del moto e da una retromarcia in modo da allontanare le lame dal presunto oggetto indesiderato.

Nel caso in cui, a valle del segnale di test SCT la vibrazione anomala è scomparsa, significa che le lame 10 erano effettivamente a contatto con un oggetto indesiderato. Sequenze di azioni correttive possono portare il robot tagliaerba 10 ad allontanarsi, in una qualsiasi direzione, dal punto caratterizzato da attività non desiderabile e poi riattivare le lame.

15 L'attività mostrata in figura 10D non è desiderabile in quanto il corpo scatolare del robot tagliaerba 10 è a contatto con rami sospesi. Questo accade se è presente una superficie erbosa al di sotto di fronde sospese o di un artefatto sospeso. I comuni 20 robot tagliaerba 10 quando giungono al termine corsa, rilevato mediante un sensore a contatto, tipicamente ruotano per cambiare direzione. Ad esempio, eseguire questa operazione di rotazione dentro un cespuglio può portare il robot tagliaerba 10 a incastrarsi nel 25 cespuglio stesso: i rami potrebbero trattenere il corpo

scatolare del robot tagliaerba 10 e le ruote potrebbero iniziare a girare a vuoto, impedendo il moto del robot e rovinando il terreno. In questo caso, è opportuno rilevare la condizione di contatto o sfregamento con i cespugli per evitare manovre di rotazione fintanto che il robot tagliaerba 10 avanza o si addentra nello stesso. Quando il robot tagliaerba 10 si è completamente addentrato nel cespuglio e tale attività è stata correttamente classificata 113, anziché ruotare, in accordo con il metodo dell'invenzione, viene inviata un'istruzione correttiva di retromarcia che dura, in accordo con il metodo di figura 5, fintanto che i rami sfregano sul corpo scatolare del robot. Quando il robot è finalmente libero, è possibile compiere la manovra rotativa.

L'attività mostrata in figura 10E non è desiderabile in quanto la lama 202 del robot tagliaerba 10 è a contatto con erba troppo folta rispetto all'altezza della lama stessa. Varianti di questa condizione possono riguardare un'erba molto umida che diventa "pastosa" se tagliata. Il taglio di erba secca produce suoni "schioppettanti" mentre il taglio di erba umida genera una vibrazione continua a frequenze più basse. Tale differenza è identificabile analizzando anche le bande di frequenza del segnale S più alte, fino

a 20KHz. In tal caso, un microfono 203 posto nella parte inferiore del robot tagliaerba 10, vicino alla lama 202 e quindi protetto da rumori esterni, è in grado di captare le bande di frequenze utili per discriminare 5 tali condizioni differenti di taglio.

La rilevazione di queste condizioni viene svolto nelle soluzioni oggi note tramite l'impiego di un sensore di pioggia posto sulla sommità del robot tagliaerba. La 10 presente invenzione offre una metodologia vantaggiosa rispetto all'impiego del sensore di pioggia. Infatti, la valutazione dell'umidità dell'erba svolta dal robot tagliaerba 10 della presente invenzione può essere utile per tagliare solo le aree dove l'erba è già secca, evitando quelle dove l'erba è ancora umida o viceversa.

15 L'attività di figura 10F non è desiderabile in quanto la lama 202 del robot tagliaerba 10 non è a contatto con erba in quanto è troppo alta e pertanto il tagliaerba si muove a vuoto. Sequenza di azioni correttive possono riguardare l'annullamento dell'intera 20 operazione di taglio o la variazione della distanza della lama dal terreno.

L'attività mostrata in figura 10G non è desiderabile in quanto il robot tagliaerba 10 ha subito un urto inaspettato contro un oggetto rigido che ha 25 causato una vibrazione o "shock" inaspettato sulla

struttura del tagliaerba. Tale shock è inizialmente rilevato come energia in tutte le bande di frequenze, energia che si azzerà rapidamente e permane più a lungo solo alla frequenza di risonanza della struttura del
5 tagliaerba.

L'attività mostrata in figura 10h non è desiderabile in quanto voci o versi di esseri viventi sono emessi nelle immediate vicinanze del robot tagliaerba 10: tali vibrazioni si propagano
10 principalmente per via acustica e un microfono 203 direzionale orientato nel verso di marcia del tagliaerba è configurato per rilevarle. Questo permette di evitare di muoversi verso esseri animati. Anche nell'ipotesi in cui un animale dovesse emettere un guaito o un umano
15 emettere un urlo o pianto, il robot tagliaerba 10 è configurato per classificare correttamente tale suono e intraprendere l'azione correttiva per arrestare completamente l'attività. Il riconoscimento delle voci umane può essere efficacemente svolto mediante rete
20 neurale addestrata, per esempio una rete neurale convoluzionale, applicata allo spettrogramma del microfono 203, ad esempio uno spettrogramma MFC ovvero in "scala MEL", del tipo noto all'esperto del settore.

METODI CLASSIFICAZIONE

25 Di seguito sono descritte alcune forme

realizzative del metodo di classificazione 113 di figura 1 e le relative fasi 112 di processamento del segnale S propedeutiche alla classificazione stessa.

Come già evidenziato, l'energia in una determinata
5 banda del segnale S può essere impiegata per discriminare una coppia di attività. Tuttavia, quando il numero di attività è superiore a due, l'impiego di una singola soglia discriminante non è sufficiente.

In tal caso, in riferimento alla figura 11, una
10 specifica implementazione della fase di classificazione 113 comprende l'impiego di alberi decisionali 113DT (Decision Trees), ovvero una sequenza ordinata di soglie discriminanti.

Sempre con riferimento alla figura 11, la fase
15 113DT riceve in ingresso il valore dell'energia del segnale S, calcolata in finestre temporali di ampiezza ridotta, in diverse bande di frequenza 113DTi. Tali energie sono state estratte dal segnale S nella precedente fase di processamento 112. L'albero
20 decisionale confronta un livello d'energia con una soglia. Nello specifico albero di figura 11, vengono ad esempio eseguiti tra i 2 e i 4 confronti, a seconda della diramazione, per giungere alla conclusione della classe di attività.

25 Tali alberi decisionali sono molto leggeri da un punto

di vista computazionale, e possono essere implementati direttamente su alcuni sensori (es: LSM6DSOX di ST Microelectronics) provvisti già di adeguate risorse di memoria e di unità computazionali, cioè che hanno una 5 unità di elaborazione 204 direttamente integrata. Nello specifico esempio di figura 11 vengono estratti i valori energetici da 6 bande di frequenza di un segnale rilevato con un accelerometro monodirezionale posto in prossimità della ruota anteriore 10' del robot 10 tagliaerba 10 e orientato lungo l'asse verticale del robot stesso.

In accordo con la figura 6, possono essere utilizzate livelli energetici in specifiche bande di frequenza di segnali acquisiti da più sensori. Ad 15 esempio accelerometri in commercio sono comunemente a 3 assi, e risulta particolarmente vantaggioso elaborare l'energia in particolare bande longitudinali, trasversali e verticali per permettere all'albero decisionale 113DT di meglio discriminare le diverse 20 classi. Analogamente possono essere elaborati livelli di energie per bande di frequenze ricavate da giroscopi o microfoni.

Come già illustrato, l'albero decisionale 113DT può ricevere in ingresso altri valori da utilizzare come 25 soglia discriminante in una o più diramazioni, ad

esempio può ricevere in ingresso una predizione fatta mediante mezzi di visione.

Gli alberi decisionali possono essere inseriti dallo stesso utente oppure possono essere appresi dal 5 robot tagliaerba 10.

Con una tecnica di machine-learning è possibile addestrare il classificatore, non necessariamente un albero decisionale, sulla base di una pluralità di esperienze sensoriali raccolte. Una volta posti tutti i 10 sensori sul robot tagliaerba 10 nella posizione e con l'orientamento desiderato, si lascia operare il robot, o più cloni di esso, in una molteplicità di ambienti di lavoro in modo che i dati sensoriali provenienti da accelerometri, giroscopi e microfoni vengano registrati. 15 In tal caso, è opportuno che nei vari ambienti siano presenti una vasta quantità di disturbi, ad esempio macchinari al lavoro o giardinieri all'opera con altre attrezzature da giardino. Questo permette di raccogliere dati differenti e consentirà al robot 10 di imparare 20 solo i dati utili in fase di addestramento. Una volta raccolta una pluralità di registrazioni dai diversi sensori esse vengono etichettate (labelling) manualmente, viene cioè associata una specifica classe di attività.

25 Attraverso tecniche di machine-learning, si

possono addestrare diversi alberi decisionali. Più
alberi decisionali, con diramazioni differenti l'uno
dalle altre, possono essere utilizzati simultaneamente,
ciascuno giungendo a una classificazione intermedia
5 indipendente. Si può quindi procedere con una media tra
esse. Tale tecnica di machine learning, nota all'esperto
del settore, prende il nome di Random Forest (Foresta di
alberi decisionali).

Recenti tecniche di Artificial Intelligence (AI)
10 si basano sull'utilizzo di reti neurali in particolare
CNN (Convolutional Neural Networks) e RNN (Recurrent
Neural Network).

Con riferimento alla figura 12, la fase di
processamento 112 genera uno spettrogramma 113conv-i, ad
15 esempio computando l'energia nelle bande tramite FFT
(Fast Fourier Transform). Tale spettrogramma è inviato
in ingresso ad una rete neurale addestrata 113conv, ad
esempio di tipo convoluzionale di tipo noto. Lo
spettrogramma può essere di tipo MFCC, noto all'esperto
20 del settore. Il vantaggio di utilizzare le reti neurali
convoluzionali applicate a uno spettrogramma rispetto ad
alberi decisionali, è che le reti neurali convoluzionali
tengono conto dell'evoluzione temporale dell'energia
nelle varie bande riconoscendo pattern più complessi. La
25 rete neurale convoluzionale di figura 12 si compone di

una serie di livelli convoluzionali che estraggono una gerarchia di caratteristiche. Ciascun livello convoluzionale può includere anche una o più operazioni di "Relu", del tipo noto all'esperto del settore. Al termine delle convoluzioni vi è un layer "Fully Connected" che restituisce le predizioni delle varie attività sotto forma di più o meno intensa attivazione dei neuroni di output.

Il metodo di controllo 100 ed il sistema 1000 della presente invenzione presentano altri vantaggi, oltre a quelli già sopra ricordati, rispetto alle soluzioni note.

Anzitutto, la presente invenzione è più versatile, adattabile e di più rapido impiego rispetto alle soluzioni di taglio che ricorrono alla delimitazione dell'ambiente di lavoro mediante filo perimetrale.

Altro vantaggio è il confinamento su un'area desiderabile, eventualmente ridondando altri sensori adibiti allo scopo, quale ad esempio un sensore di visione. In particolar modo su un'area erbosa evitando fughe accidentali ed eliminando la fase di setup.

Il robot tagliaerba 10 fornisce una rapida reazione di fronte a oggetti o essere viventi che possono accidentalmente entrare in contatto con l'organo di taglio 202. In particolare, è in grado di riconoscere robustamente questa condizione meglio dei sistemi

attualmente in commercio.

Inoltre, il robot tagliaerba 10 è configurato per districarsi da ostacoli sospesi, evitando che il sistema 1000 si incastri, rimanendo quindi intrappolato e 5 incapace di proseguire nello svolgimento del compito di taglio.

Il robot tagliaerba 10 assicura un taglio più efficiente in funzione delle condizioni del manto erboso: il sistema può automaticamente adattare la propria marcia 10 o altezza di taglio in funzione della tipologia del manto erboso o addirittura evitare di tagliare l'erba se questa risulta troppo umida o già adeguatamente tagliata a una certa altezza. Questo permette una qualità di taglio 15 migliore rispetto alle tecniche note.

15 Inoltre, la soluzione proposta è più affidabile e robusta nel discriminare condizioni di lavoro desiderabili da una attività indesiderabile o poco sicura in quanto la rilevazione delle vibrazioni impiegata dall'invenzione permette di discriminare meglio le 20 condizioni di lavoro che sono desiderabili, ma che con le metodologie tradizionali potrebbero generare falsi positivi.

Si osservi, inoltre, che le peculiarità del metodo della presente invenzione trova applicazione anche in 25 altre tipologie di robot da giardino diversi dal robot

tagliaerba 10, quali ad esempio, robot pulisci vialetti, robot raccogli foglie, robot per fertilizzare, robot per pulire il deck, robot spazzaneve. Questi robot da giardino differiscono dal robot tagliaerba 10 sopra descritto in quanto ciascuno comprende un rispettivo organo di lavoro, diverso dall'organo di taglio dell'erba.

Si noti, inoltre, che per robot tagliaerba si intendono macchine di qualsiasi dimensione e livello di autonomia. Alcuni tagliaerba robotici di grandi dimensioni sono spesso supervisionati da un operatore, a bordo o da remoto; il metodo della presente invenzione trova applicazione in tutti questi casi.

Alle forme di realizzazione del metodo e sistema dell'invenzione, un tecnico del ramo, per soddisfare esigenze contingenti, potrà apportare modifiche, adattamenti e sostituzioni di elementi con altri funzionalmente equivalenti, senza uscire dall'ambito delle seguenti rivendicazioni. Ognuna delle caratteristiche descritte come appartenente ad una possibile forma di realizzazione può essere realizzata indipendentemente dalle altre forme di realizzazione descritte.

*** * ***

RIVENDICAZIONI

1. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) in un ambiente di lavoro, detto robot tagliaerba (10) comprendendo:
- un organo di locomozione (201);
 - un organo di taglio dell'erba (202);
 - uno o più sensori di vibrazioni (203) atti a rilevare vibrazioni meccaniche generate in detto ambiente di lavoro e che si propagano attraverso un corpo del robot tagliaerba o attraverso l'aria circostante,
- il metodo comprendendo le fasi di:
- rilevare (111; 111a) almeno una vibrazione meccanica (VIB), attraverso detti uno o più sensori di vibrazioni (203) per generare almeno un segnale elettrico (S) rappresentativo della almeno una vibrazione meccanica;
 - processare (112; 112a), mediante una unità elettronica di elaborazione (204), detto almeno un segnale elettrico (S) generato per estrarre almeno una caratteristica di detto segnale (S) per generare un'impronta vibrometrica del segnale;
 - classificare (113; 113a) detta impronta vibrometrica generata per ricavare un identificativo di classe (IC; ICa) associato all'impronta vibrometrica, detto identificativo di classe potendo assumere un primo valore

indicativo di un'attività desiderabile svolta dal robot tagliaerba (10) oppure un secondo valore indicativo di un'attività non desiderabile;

- generare (121; 121a) almeno un segnale di controllo (SC) dell'organo di locomozione (201) o dell'organo di taglio dell'erba (202) quando detto identificativo di classe (ICa) assume detto secondo valore per riportare il robot tagliaerba (10) in una condizione di attività desiderabile.

10

2. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo la rivendicazione 1, in cui detto secondo valore dell'identificativo di classe (IC) include una pluralità di secondi valori, ciascuno indicativo di un'attività non desiderabile e associato ad una di una pluralità di sequenze di segnali di controllo, ed in cui detta fase di generare (121) un segnale di controllo per il robot tagliaerba comprende le fasi di:

- selezionare (1211) una sequenza di segnali di controllo tra le sequenze di segnali di controllo di detta pluralità;
- rendere disponibile (1212) detta sequenza di segnali di controllo selezionata all'organo di locomozione (201) o all'organo di taglio dell'erba (202) per riportare il robot tagliaerba (10) in una condizione di attività

desiderabile.

3. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo la rivendicazione 1, in cui, quando
- 5 l'identificativo di classe (ICa) assume il secondo valore indicativo di un'attività non desiderabile, detta fase di generare comprende una fase di generare (121a) un segnale di controllo di test (SCT) dell'organo di locomozione (201) o dell'organo di taglio dell'erba (202),
- 10 il metodo comprendendo inoltre le fasi di:
- rilevare (111b) una ulteriore vibrazione meccanica, attraverso detti uno o più sensori di vibrazioni (203) per generare un ulteriore segnale elettrico (S') rappresentativo di detta ulteriore vibrazione meccanica;

15 - processare (112a), mediante detta unità elettronica di elaborazione (204), detto ulteriore segnale elettrico (S') per estrarre almeno una caratteristica di detto segnale (S') per generare una ulteriore impronta vibrometrica;

20 - classificare (113b) detta ulteriore impronta vibrometrica generata per ricavare un ulteriore identificativo di classe (ICb) associato all'ulteriore impronta vibrometrica,

il metodo comprendendo, inoltre, le seguenti fasi

25 alternative:

- generare (121b) un ulteriore segnale di controllo dell'organo di locomozione (201) o dell'organo di taglio dell'erba (202), quando detto ulteriore identificativo di classe (ICb) assume il primo valore indicativo di
5 un'attività desiderabile,

- generare una segnalazione (122b) quando detto ulteriore identificativo di classe (ICb) assume detto secondo valore indicativo di un'attività non desiderabile svolta dal robot tagliaerba (10).

10

4. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo la rivendicazione 1, in cui quando detto identificativo di classe (IC) assume detto secondo valore indicativo di un'attività non desiderabile, dopo detta 15 fase di generare (121) almeno un segnale di controllo (SC) dell'organo di locomozione (201) o dell'organo di taglio dell'erba (202), il metodo comprende una fase di ripetere in successione le fasi di:

- rilevare (111) almeno una vibrazione meccanica (VIB) per generare almeno un segnale elettrico (S)
20 rappresentativo della almeno una vibrazione meccanica;
- processare (112) detto almeno un segnale elettrico (S) generato per estrarre almeno una caratteristica di detto segnale (S) per generare un'impronta vibrometrica
25 del segnale;

- classificare (113) detta impronta vibrometrica generata per ricavare un identificativo di classe (IC) associato all'impronta vibrometrica,

- generare (121c) almeno un segnale di controllo (SC) dell'organo di locomozione (201) o dell'organo di taglio dell'erba (202) quando detto identificativo di classe (IC) assume detto secondo valore,

5 fino a quando detto identificativo di classe (IC) assume detto primo valore indicativo di un'attività desiderabile dell'erba (202) quando detto identificativo di classe (IC) assume detto secondo valore,

10 svolta dal robot tagliaerba (10).

5. Metodo (500) di controllo di un robot tagliaerba (10) in un ambiente di lavoro, detto robot tagliaerba (10) comprendendo:

15 - un organo di locomozione (201);

- un organo di taglio dell'erba (202);

- una pluralità di sensori di vibrazioni (203), ciascuno atto a rilevare una vibrazione meccanica generata in detto ambiente di lavoro e che si propaga 20 attraverso un corpo del robot tagliaerba o attraverso l'aria circostante,

il metodo comprendendo le fasi di:

- rilevare (111), da parte di ciascun sensore (203) della pluralità, una vibrazione meccanica (VIB1, VIB2, ..., VIBn) per generare una pluralità di segnali elettrici

(S₁, S₂, ..., S_n) rappresentativi di dette vibrazioni meccaniche;

- processare (112), mediante una unità elettronica di elaborazione (204), detta pluralità di segnali elettrici

5 (S₁, S₂, ..., S_n) generati per estrarre almeno una caratteristica di detti segnali per generare una pluralità di impronte vibrometriche ciascuna corrispondente ad uno di detti segnali;

- eseguire una operazione di unione (1121) della pluralità di impronte vibrometriche per generare una prima impronta vibrometrica rappresentativa dell'unione delle impronte vibrometriche della pluralità;

- classificare (113) detta prima impronta vibrometrica generata per ricavare un identificativo di classe (IC1) associato alla prima impronta vibrometrica, detto identificativo di classe potendo assumere un primo valore indicativo di un'attività desiderabile svolta dal robot tagliaerba (10) oppure un secondo valore indicativo di un'attività non desiderabile;

20 - generare (121) almeno un segnale di controllo (SC) dell'organo di locomozione (201) o dell'organo di taglio dell'erba (202) quando detto identificativo di classe (IC1) assume detto secondo valore per riportare il robot tagliaerba (10) in una condizione di attività desiderabile.

6. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo la rivendicazione 1, in cui il robot tagliaerba (10) include mezzi di acquisizione di immagini digitali

5 (60), detto metodo comprendendo, inoltre, le fasi di:

- acquisire una o più immagini digitali di una porzione dell'ambiente di lavoro in cui è movimentabile il robot tagliaerba (10) posta a distanza prefissata (d) dal robot tagliaerba;

10 - generare, ad un primo istante di tempo (t1), sulla base di dette una o più immagini digitali acquisite, un ulteriore identificativo rappresentativo di una predizione visiva di un'attività desiderabile o non desiderabile svolta dal robot tagliaerba (10) ad un
15 secondo istante tempo (t2) successivo al primo istante, dove $t_2=t_1+\Delta t$;

- memorizzare detto ulteriore identificativo in una ulteriore memoria (115) del robot tagliaerba (10), ed in cui, in detto secondo istante di tempo (t2) detta
20 fase di classificare comprende una fase di classificare (113m) sia l'impronta vibrometrica generata da una vibrazione meccanica rilevata attraverso detti uno o più sensori di vibrazioni (203) in detto secondo istante di tempo (t2), sia detto ulteriore identificativo generato
25 in detto primo istante di tempo (t1).

7. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo la rivendicazione 1, in cui il robot tagliaerba (10) include mezzi di acquisizione di immagini digitali

5 (60), detto metodo comprendendo, inoltre, le fasi di:

- acquisire una o più immagini digitali di una porzione dell'ambiente di lavoro in cui è movimentabile il robot tagliaerba (10) posta a distanza prefissata (d) dal robot tagliaerba;

10 - generare, ad un primo istante di tempo (t1), sulla base di dette una o più immagini digitali acquisite, un ulteriore identificativo rappresentativo di una predizione visiva di un'attività desiderabile o non desiderabile svolta dal robot tagliaerba (10) ad un secondo istante tempo (t2) successivo al primo istante, dove $t2=t1+\Delta t$;

15 - confrontare detto identificativo di classe (IC) associato all'impronta vibrometrica generata in detto secondo istante di tempo (t2) con detto ulteriore identificativo rappresentativo di una predizione visiva di un'attività desiderabile o non desiderabile associata a detto primo istante di tempo (t1);

20 - modificare l'identificativo rappresentativo della predizione visiva quando l'identificativo di classe (IC) assume il secondo valore indicativo di un'attività non

desiderabile svolta dal robot tagliaerba (10) e l'ulteriore identificativo assume un valore indicativo di una attività desiderabile;

- memorizzare in un data-base (13) detta rilevazione
- 5 della classificazione discordante.

8. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detti sensori di vibrazioni (203) sono
10 scelti nel gruppo costituito da: microfoni, accelerometri, giroscopi.

9. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-8, in cui quando detto secondo valore di attività non
15 desiderabile è un'attività di fuoriuscita dal manto erboso, l'almeno un segnale di controllo (SC) è un comando all'organo di locomozione (201) di arresto del moto nel verso corrente o di inversione del verso di
20 moto.

10. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-8, in cui quando detto secondo valore di attività non
25 desiderabile è un'attività di sfregamento con un

cespuglio, l'almeno un segnale di controllo (SC) è un comando all'organo di locomozione (201) di inversione del verso di moto.

5 **11.** Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-10, in cui detta impronta vibrometrica estratta dal segnale (S) è l'energia (113DTi) di bande di frequenza del segnale rilevato e detta fase di classificare comprende una fase
10 di impiegare almeno un albero decisionale (113DT).

12. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-10, in cui detta impronta vibrometrica estratta dal segnale (S) è uno spettrogramma (113conv-i) del segnale rilevato e detta fase di classificare comprende almeno l'esecuzione in avanti di una rete neurale addestrata (113conv).

13. Metodo (100) di controllo di un robot tagliaerba
20 (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-12, in cui detta fase di classificare (113) comprende le fasi di:

- raccogliere dati sensoriali da una pluralità di sensori di vibrazioni (203) in una molteplicità di ambienti di
25 lavoro;

- etichettare detti dati sensoriali associando a ciascuna una specifica classe di attività;
 - applicare tecniche di machine-learning per addestrare un classificatore;
- 5 - usare detto classificatore in detta fase di classificazione.

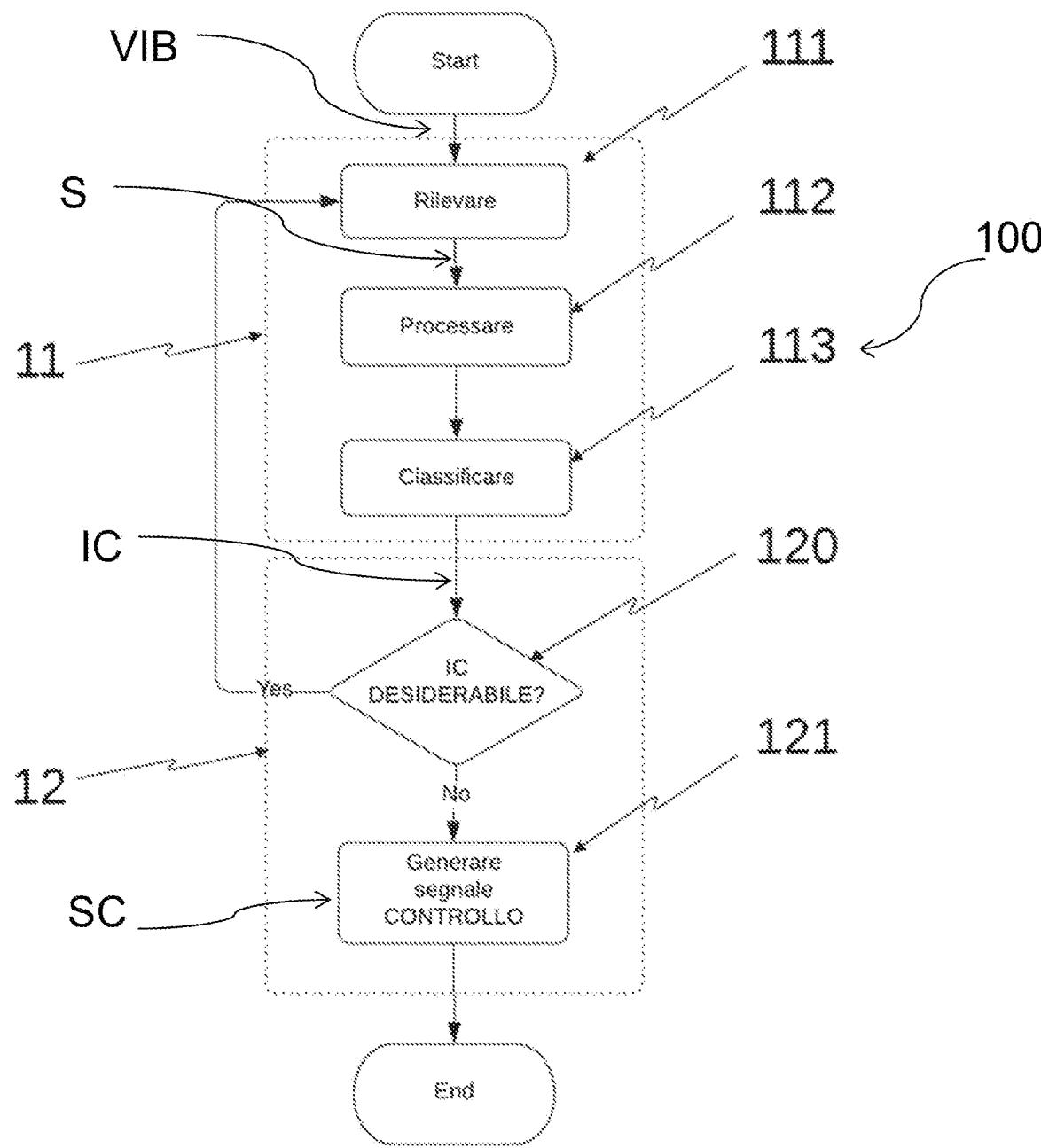
14. Sistema (1000) comprendente:

- un robot tagliaerba (10) che include un organo di locomozione (201) per movimentare il robot tagliaerba in un ambiente di lavoro ed un organo di taglio dell'erba (202);
- uno o più sensori di vibrazioni (203) atti a rilevare vibrazioni meccaniche generate in detto ambiente di lavoro e che si propagano attraverso un corpo del robot tagliaerba o attraverso l'aria circostante;
- una unità elettronica di elaborazione (204) collegata a detti uno o più sensori di vibrazioni (203) ed a detti organo di locomozione (201) e organo di taglio dell'erba (202),
in cui detta unità elettronica di elaborazione comprende almeno un processore (205) ed un blocco di memoria (206, 207) associato al processore per l'immagazzinamento di istruzioni, detto processore e detto blocco di memoria essendo configurati per eseguire le fasi del metodo

secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-13.

15. Sistema (1000) secondo la rivendicazione 9, in cui detta unità di elaborazione (204) comprende una
5 interfaccia (208) di ingresso/uscita collegata all' almeno un processore (205) e al blocco di memoria (206, 207) per consentire ad un operatore prossimale al sistema di interagire direttamente con l'unità di elaborazione.
10 16. Sistema (1000) secondo la rivendicazione 9, inoltre comprendente mezzi di acquisizione di immagini digitali (60) .

FIG. 1



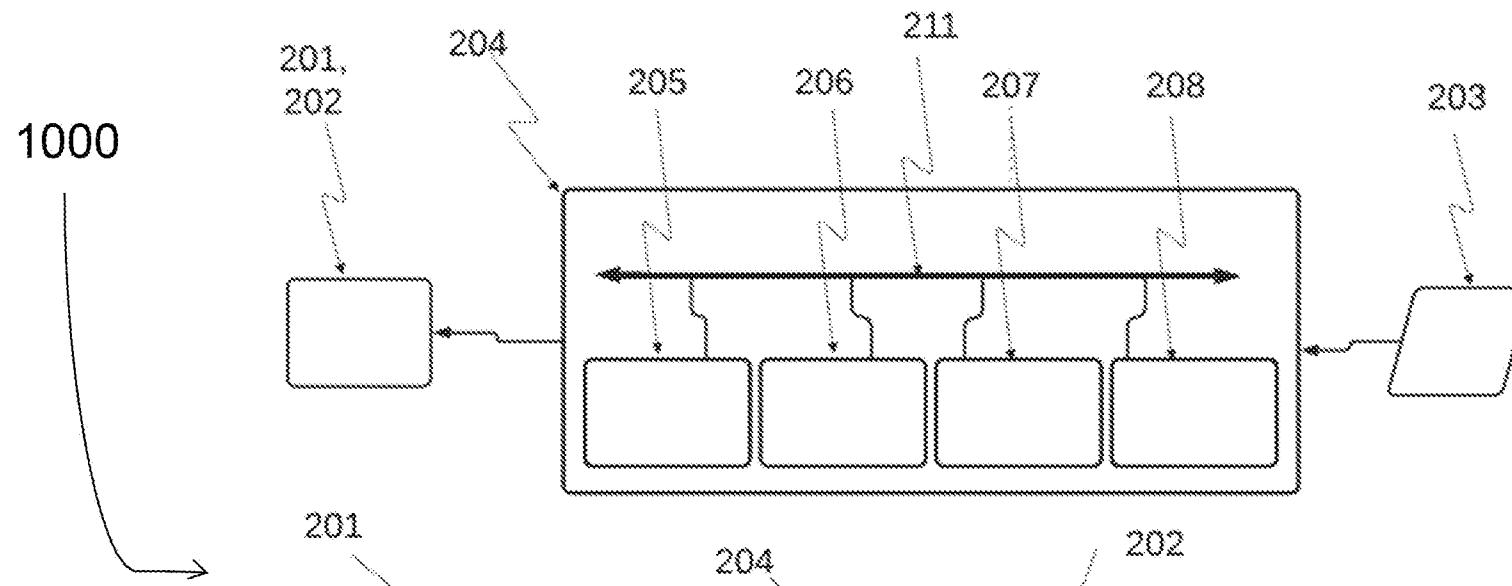


FIG. 2A

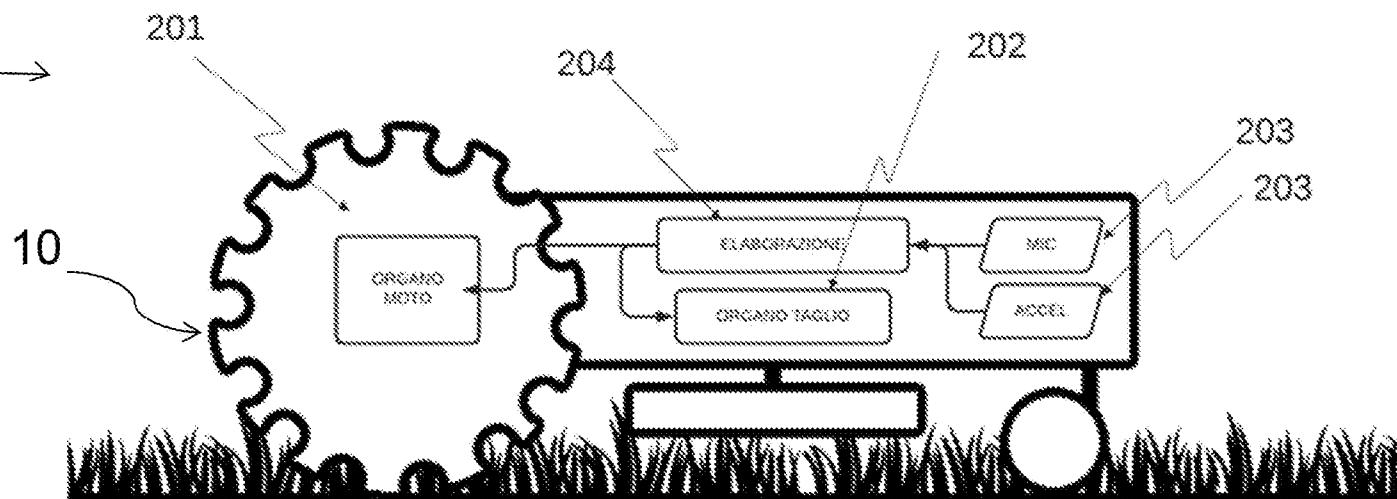


FIG. 2B

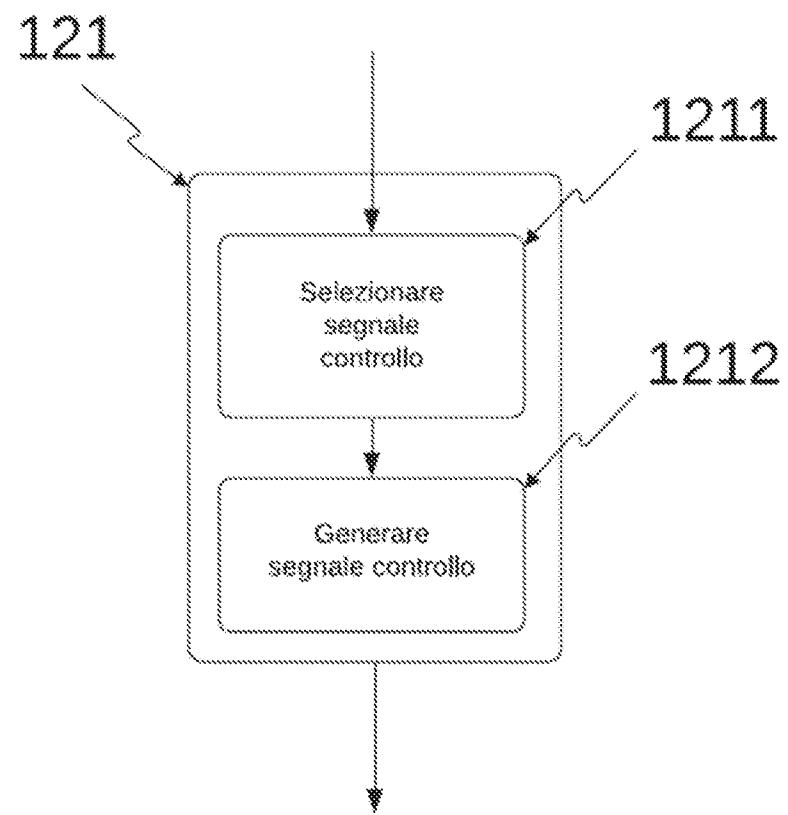


FIG. 3

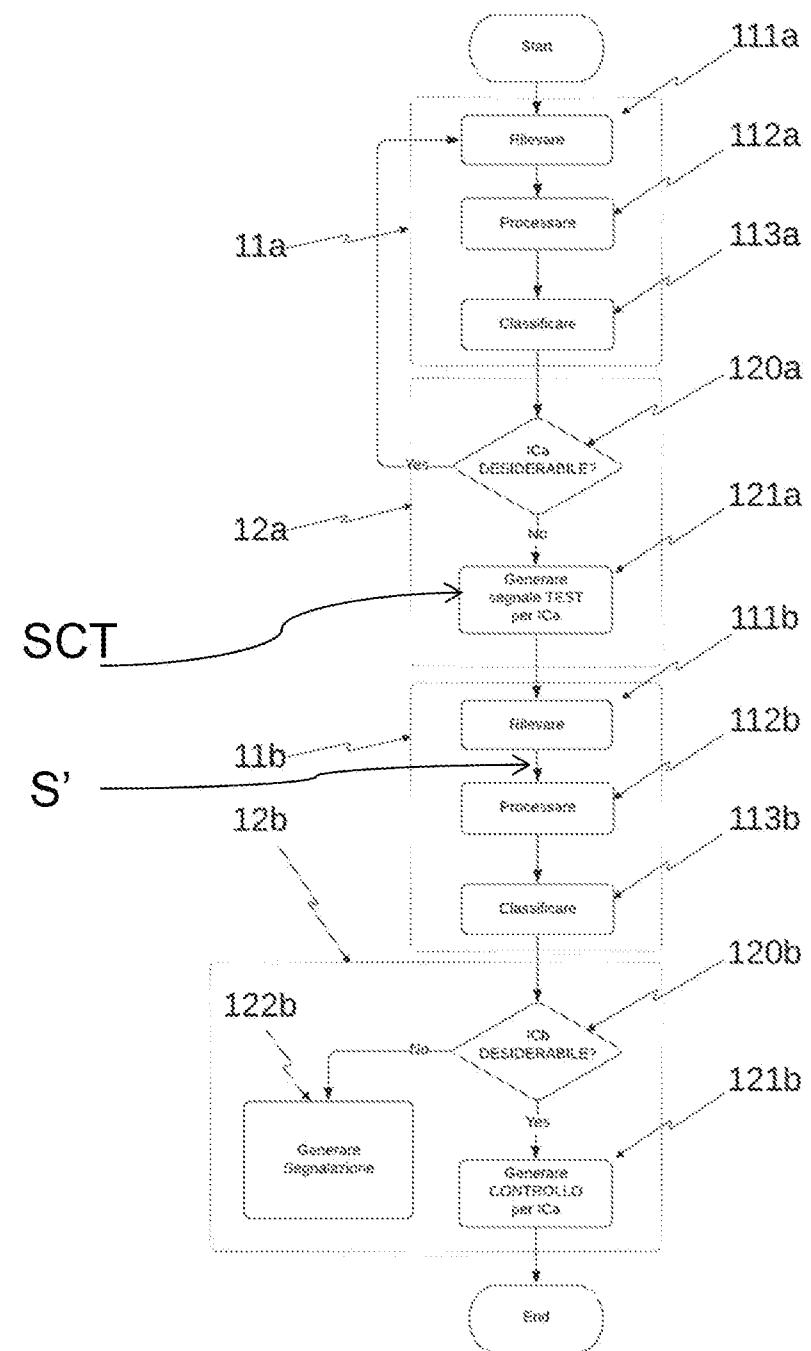


FIG. 4

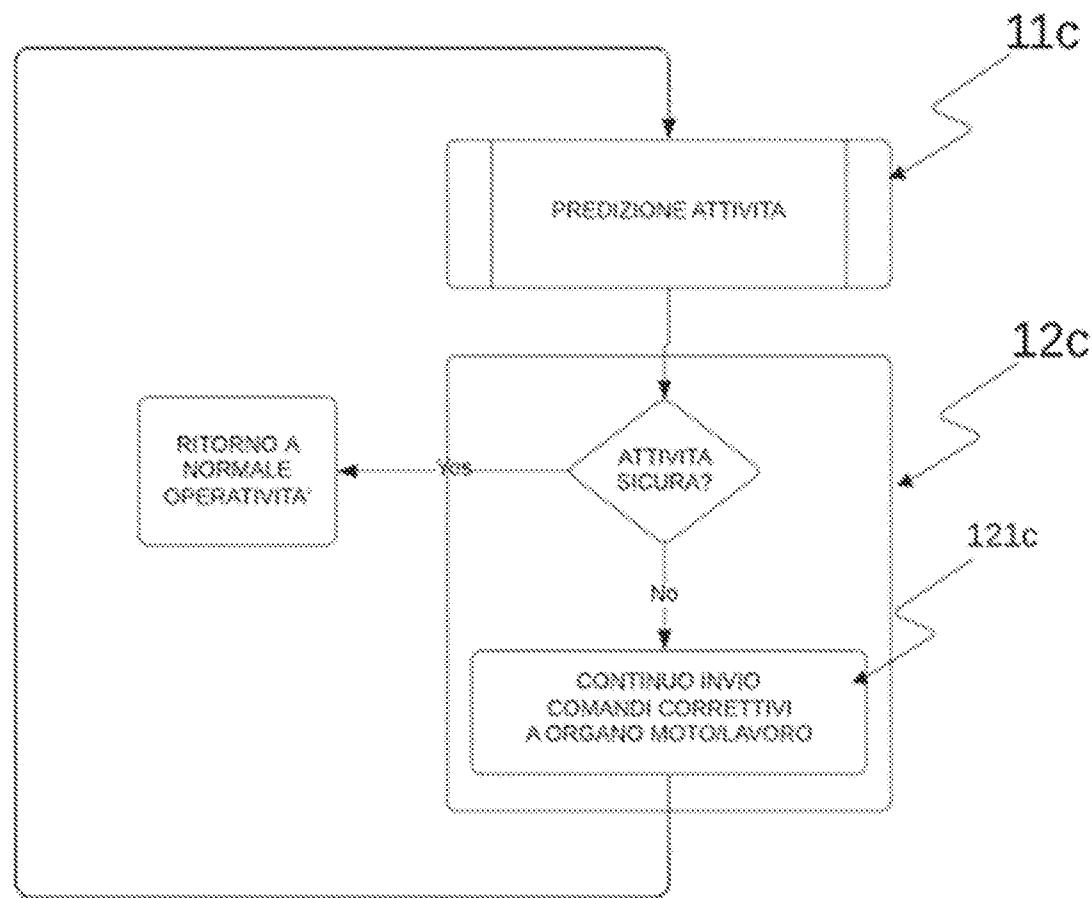


FIG. 5

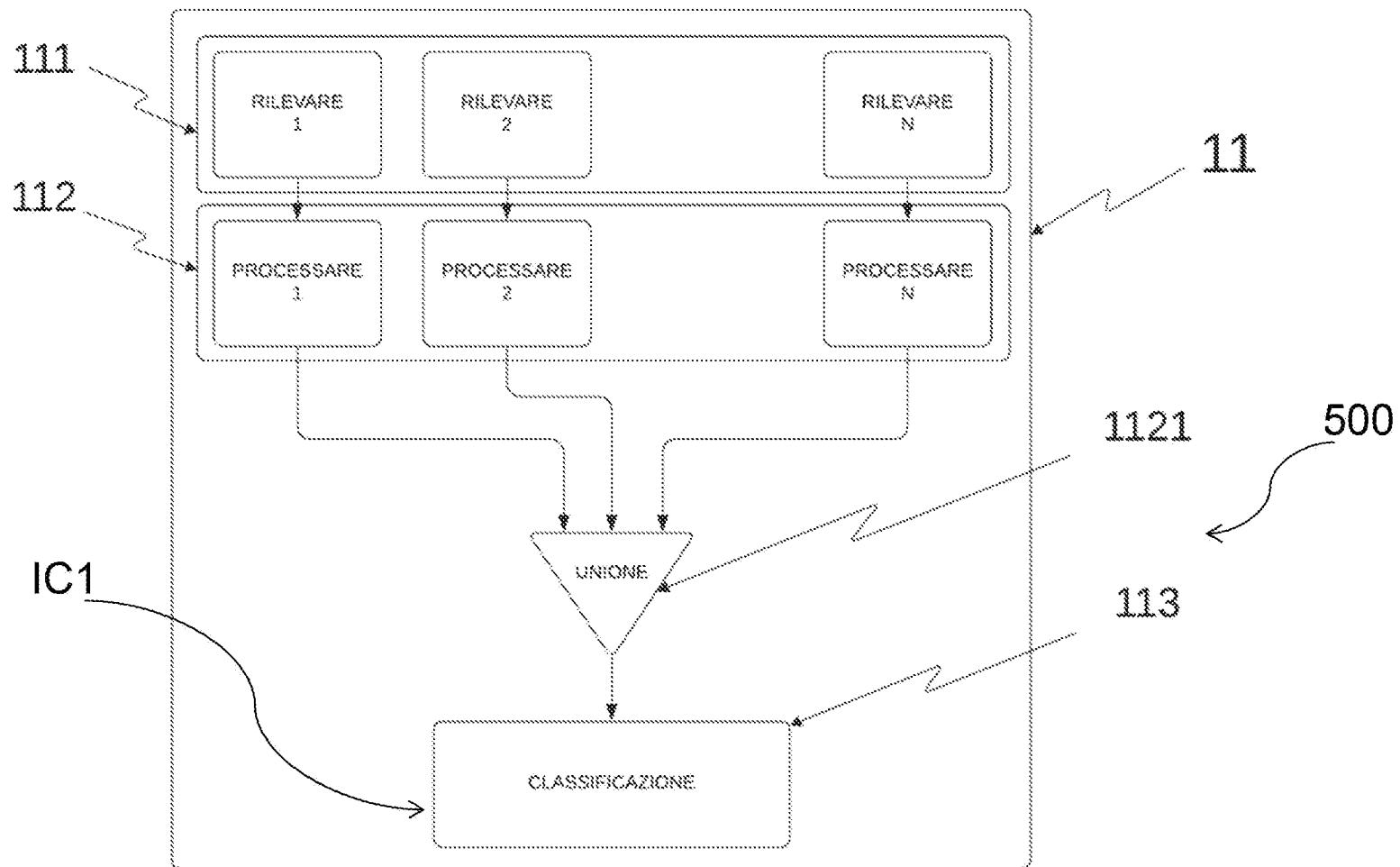


FIG. 6

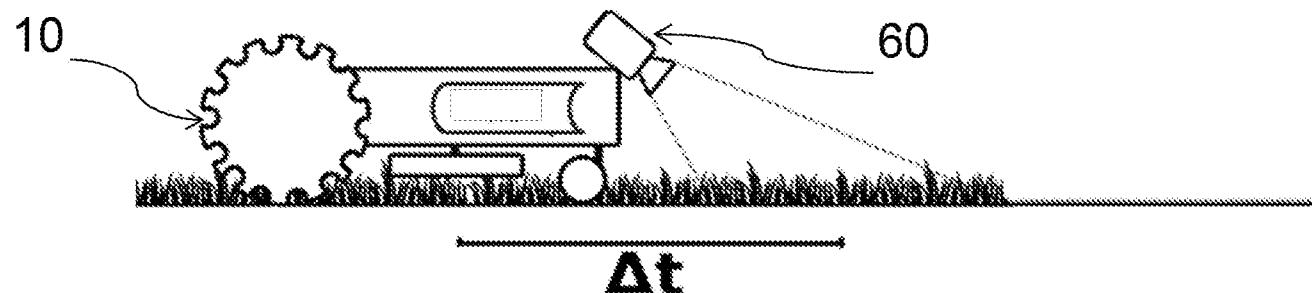


FIG. 7A

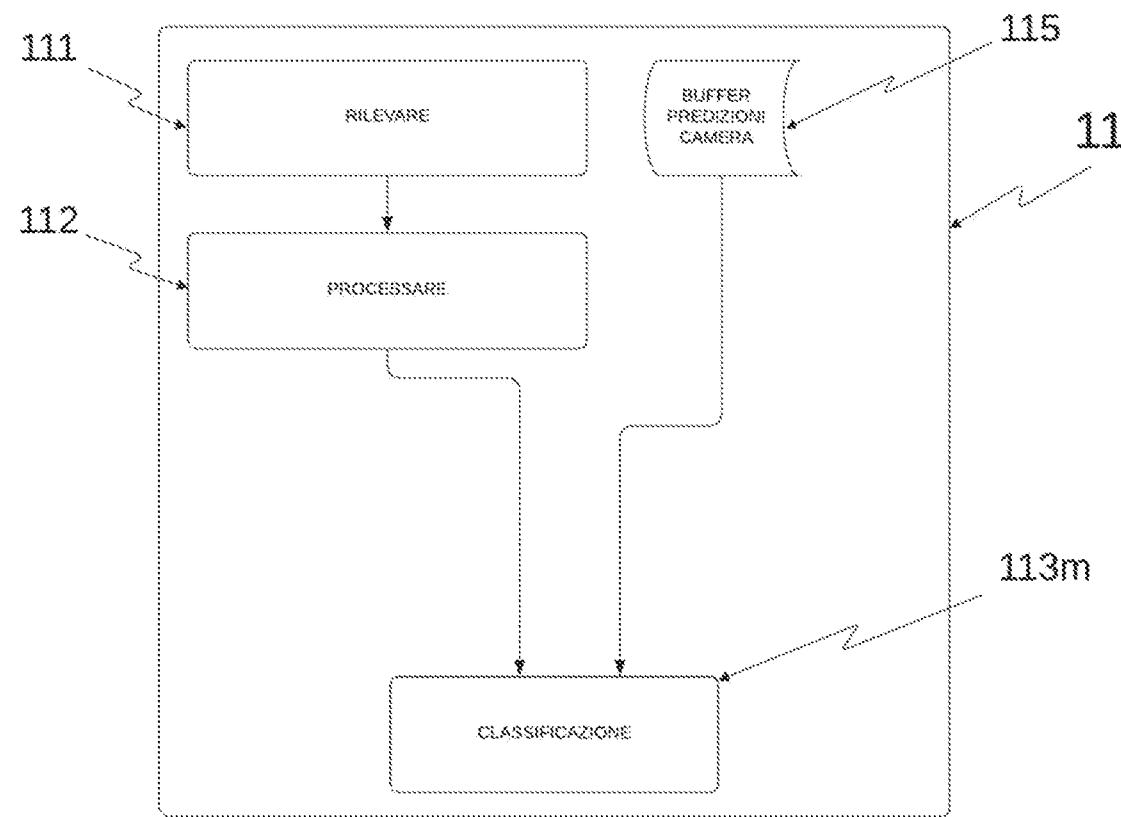


FIG. 7B

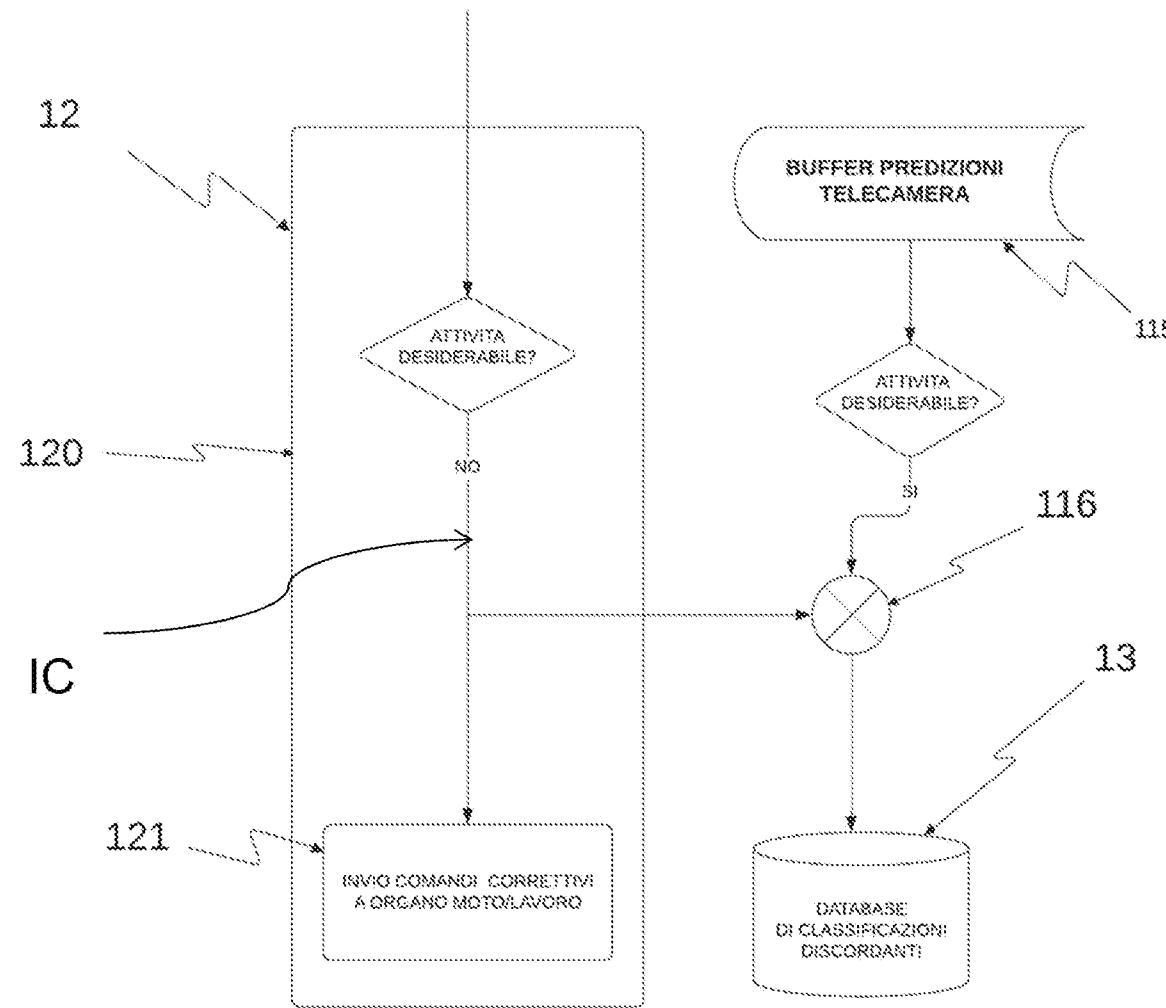


FIG. 8

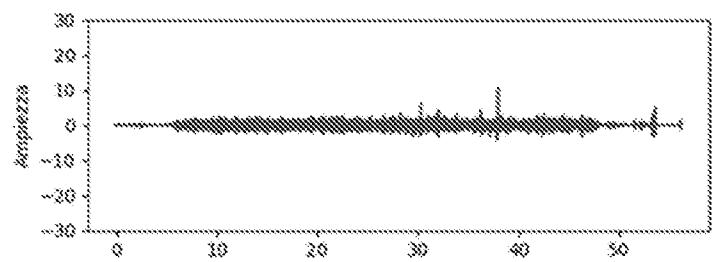
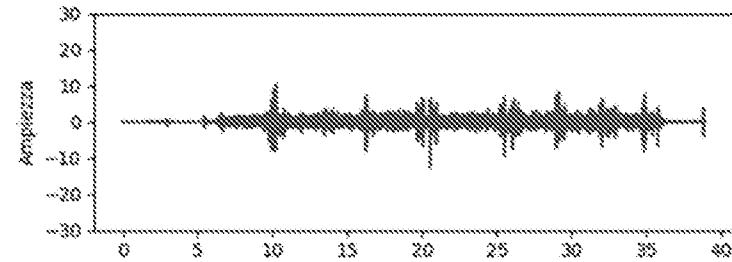
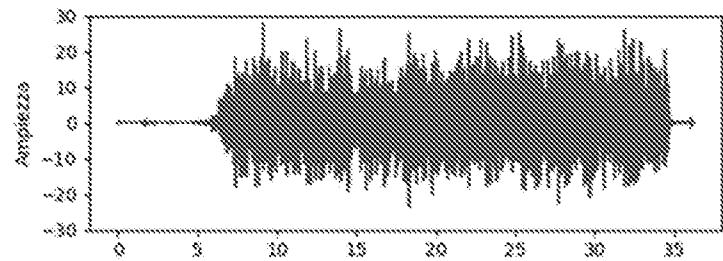
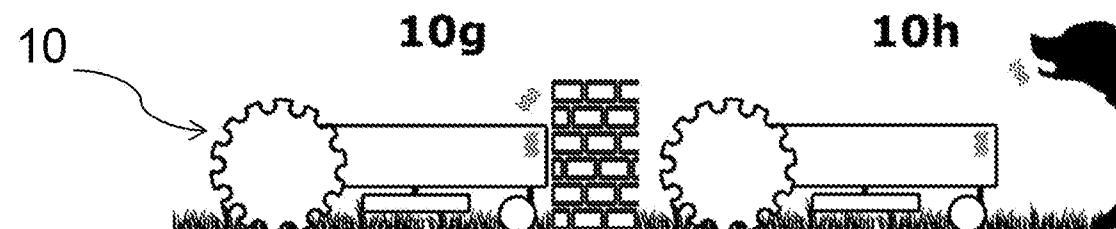
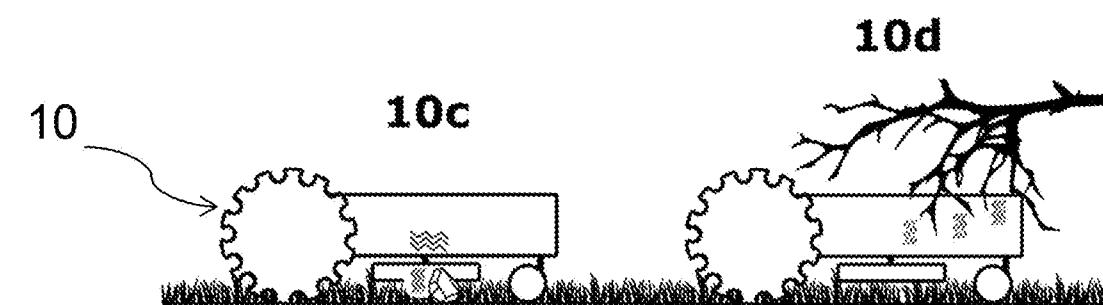
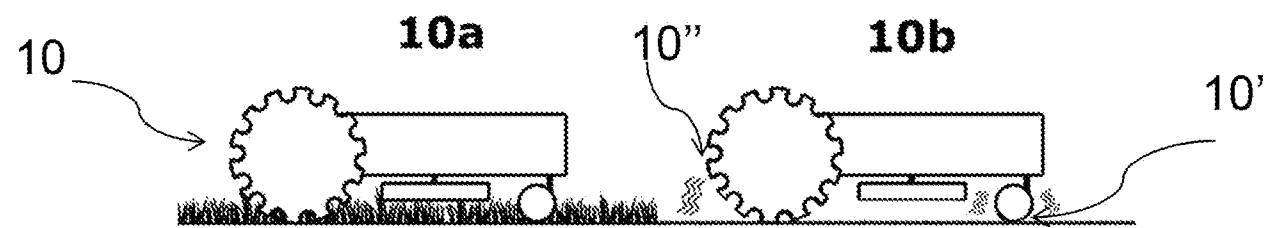


FIG. 9A





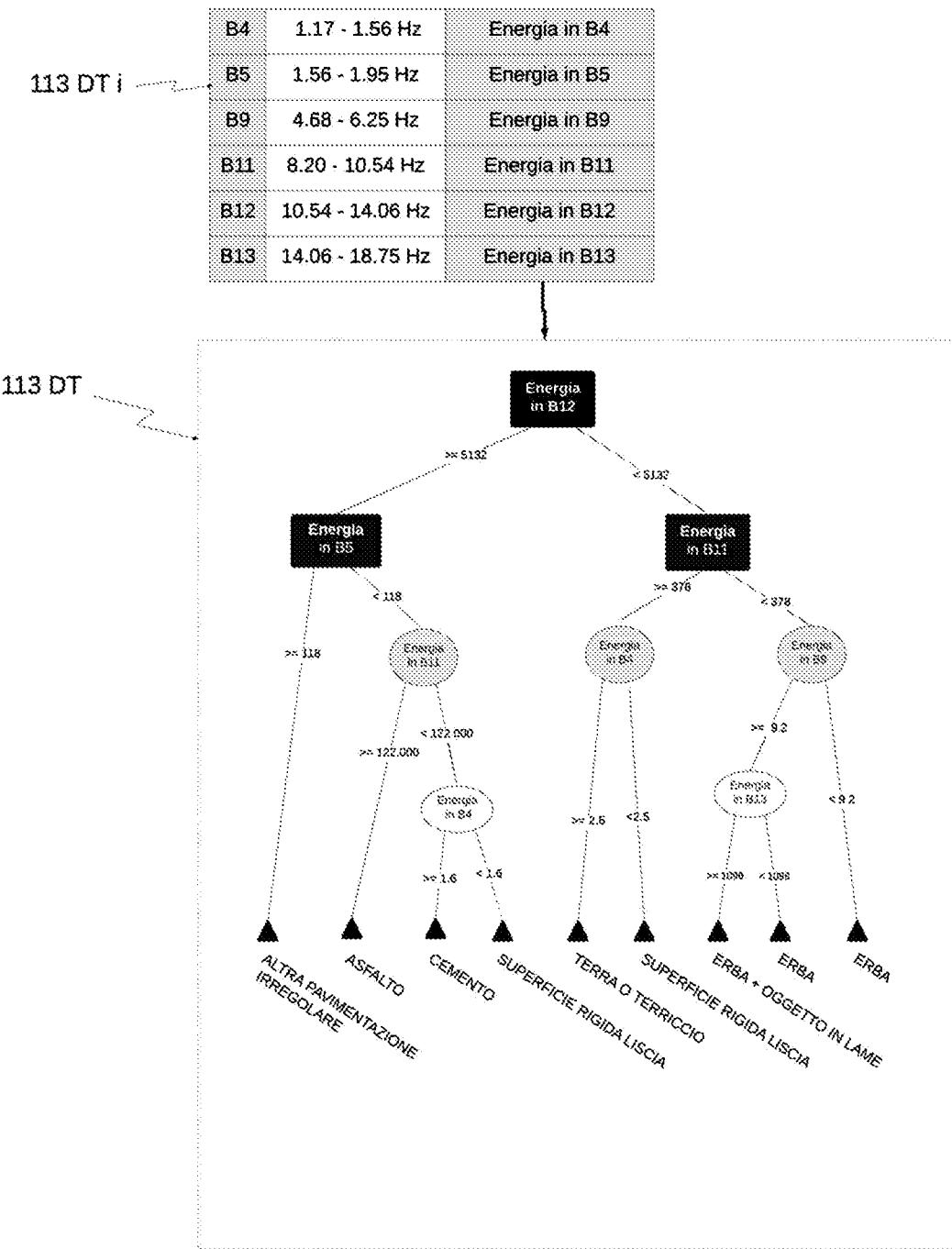


FIG. 11

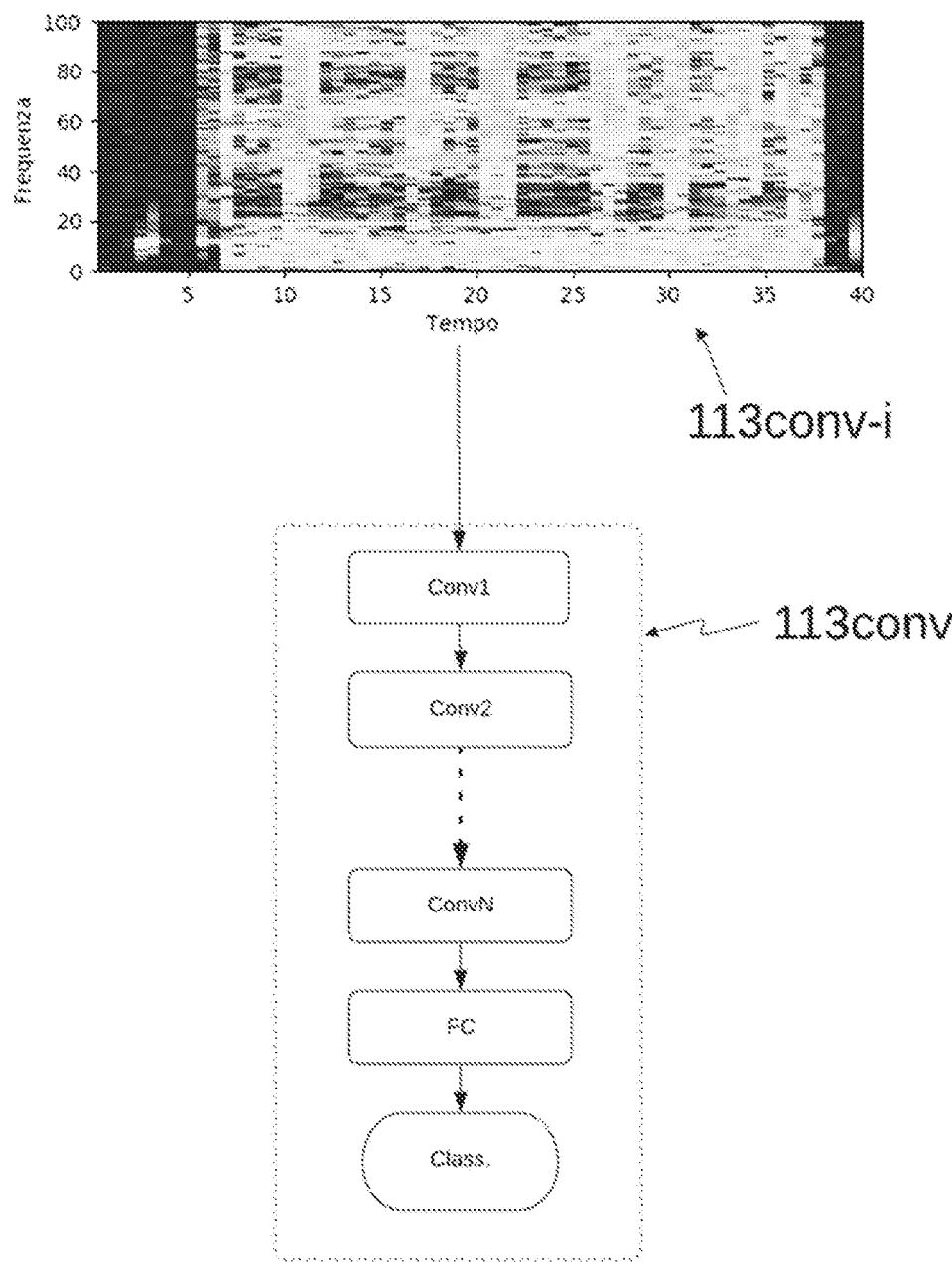


FIG. 12