

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102022000018144
Data Deposito	05/09/2022
Data Pubblicazione	05/03/2024

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	03	D	3	06

Titolo

GRUPPO ROTORE PER GENERATORE EOLICO, METODO DI ATTUAZIONE DELLO STESSO,
GENERATORE EOLICO

TITOLARE: FABRIZIO GIANNICI

DESCRIZIONE

Campo di applicazione

5 **[001]** La presente invenzione riguarda un gruppo rotore per un generatore eolico ad asse verticale, un metodo di attuazione dello stesso, ed un generatore eolico comprendente detto gruppo rotore.

10 **[002]** La presente invenzione, nello specifico, trova collocazione nel settore della produzione di energia da fonti rinnovabili, ed in particolare da generatori di energia eolica, più comunemente noti come turbine eoliche o pale eoliche.

15 **[003]** Al giorno d'oggi, grandi investimenti sono destinati allo sviluppo delle tecnologie che sfruttano fonti di energia rinnovabile. La tendenza globale attuale è quella di discostarsi in maniera crescente dall'energia basata sul petrolio, a favore di fonti di energia rinnovabile non inquinanti che sono
20 relativamente economiche, efficienti e presenti in natura, tra cui, appunto, il vento.

25 **[004]** Le turbine eoliche commerciali sono solitamente situate insieme nei cosiddetti "parchi eolici" in tutto il mondo. Tipicamente, questi parchi eolici includono strutture di alto profilo che

comprendono grandi torri che si estendono verso l'alto dal suolo. Sulla sommità di ciascuna di queste torri è montata una turbina ad asse orizzontale.

[005] Una turbina eolica ad asse orizzontale
5 generalmente comprende un albero disposto orizzontalmente che viene fatto ruotare, al quale sono collegate una molteplicità di pale.

[006] Svantaggiosamente, la turbina ad asse
orizzontale ha un intervallo operativo di velocità del
10 vento limitato, e richiede di essere frenata o bloccata in rotazione quando i limiti di velocità del vento vengono superati, per evitare danni al cambio.

[007] Secondo un ulteriore svantaggio, la turbina
ad asse orizzontale ha un elevato impatto ambientale,
15 date le altezze elevate di estensione rispetto alla superficie terrestre.

[008] Sono note nel settore anche turbine eoliche
ad asse verticale. Un esempio di turbina eolica secondo
l'arte nota è riportato in maniera schematica nella
20 figura 1 allegata.

[009] Le turbine ad asse verticale note,
generalmente, comprendono un albero montato
verticalmente in un supporto che provvede alla sua
rotazione assiale, e una pluralità di pale collegate a
25 detto albero verticale.

[0010] Questa tipologia di turbina eolica permette una resa energetica maggiore rispetto alle turbine orizzontali, se le condizioni del vento sono favorevoli, e risulta adatta soprattutto, ma non
5 esclusivamente, per la realizzazione di impianti di piccola e media potenza.

[0011] Le turbine eoliche verticali godono di diversi vantaggi, rispetto ai più tradizionali impianti eolici orizzontali. In particolare, infatti, le turbine
10 verticali sono azionate già a piccole velocità del vento, e hanno una migliore resistenza alle alte velocità del vento e ad eventuali turbolenze.

[0012] Inoltre, le turbine eoliche verticali presentano uno scarso ingombro e sono estremamente più
15 silenziose delle orizzontali.

[0013] Tuttavia, i generatori ad asse verticale noti sono soggetti anche a diversi inconvenienti.

[0014] Infatti, svantaggiosamente, tali generatori hanno un'efficienza nella conversione del vento in
20 energia elettrica di circa il 50% inferiore rispetto ai generatori ad asse orizzontale.

[0015] Inoltre, secondo un ulteriore svantaggio, non essendo solitamente montati su una torre, tali generatori non possono avvantaggiarsi dei venti più
25 forti che spirano ad altezze dal suolo più elevate.

[0016] Pertanto, nell'arte si sono studiate soluzioni che tentino di massimizzare lo sfruttamento energetico delle turbine verticali con il vento disponibile a quote ridotte, operando sull'inclinazione
5 delle pale.

[0017] Una turbina eolica verticale che utilizza un meccanismo di regolazione dell'inclinazione delle pale è descritta nel documento US 2020/0072190.

[0018] Il generatore eolico descritto in tale
10 documento comprende pale adatte ad orientarsi automaticamente e in maniera simultanea rispetto al vento, mediante un meccanismo comandato da un profilo predefinito in fase di progetto, configurato per variare la propria azione al variare della sola
15 direzione del vento.

[0019] Tale sistema, tuttavia, ha delle limitazioni, in quanto, ad esempio, non consente di variare l'orientamento delle pale in funzione dell'intensità del vento e della velocità di rotazione del rotore.

20 **[0020]** Sconvenientemente, infatti, le pale di tale sistema sono azionabili solo simultaneamente per cambiare il proprio orientamento durante la rotazione.

[0021] Pertanto, nel segmento curvilineo di rotazione che risulta essere controvento, la turbina
25 subisce perdite di carico gravose, che non consentono

di usufruire appieno della potenziale efficienza del sistema.

[0022] Inoltre, un tale sistema non è funzionale per la parzializzazione della potenza erogata (in inglese, power-trimming), né per il completo bloccaggio in
5 condizioni di vento intenso.

[0023] Altre soluzioni note utilizzano sistemi attivi per la regolazione dell'inclinazione delle pale in maniera singola, in funzione della potenza del vento
10 ed alla direzione dello stesso.

[0024] Il documento WO 2014/033473, ad esempio, descrive la possibilità di attuare ciascuna pala del generatore indipendentemente dalle altre.

[0025] In particolare, secondo una variante
15 realizzativa descritta in tale documento, ciascuna pala è dotata di un attuatore lineare indipendente e un controller centralizzato può regolare selettivamente i singoli attuatori lineari di ciascuna pala, per regolare le pale della turbina mentre avanzano attorno
20 all'albero di trasmissione. In particolare, il sistema descritto consente una rotazione delle pale mediante braccetti di comando a corsa limitata, che consentono di modificare l'inclinazione delle pale solo per un certo angolo.

25 **[0026]** Svantaggiosamente, anche tale sistema ha

delle limitazioni in quanto, ad esempio, il cambio di orientamento delle pale ha un range di variazione ristretto, per via del fatto che il braccetto di comando ha una corsa limitata.

5 **[0027]** Inoltre, il cambio di inclinazione delle pale può avvenire solo in un verso con il rispettivo ritorno, e non viceversa.

Soluzione dell'invenzione

10 **[0028]** Risulta pertanto fortemente sentita l'esigenza di mettere a disposizione un generatore di energia eolica in grado di superare gli inconvenienti tipici dello stato della tecnica.

15 **[0029]** In particolare, uno scopo della presente invenzione è quello di mettere a disposizione un gruppo rotore per un generatore eolico avente pale eoliche che sono adatte ad interagire con il vento in modo controllato, per migliorare l'efficienza dell'uscita del generatore indipendentemente dalla posizione delle pale in rotazione rispetto al vento.

20 **[0030]** Inoltre, un ulteriore scopo della presente invenzione è di ridurre al minimo le perdite di carico e di aumentare la coppia trasmessa dal generatore.

25 **[0031]** Tali esigenze sono soddisfatte da un generatore eolico, da un gruppo rotore per generatore eolico, e da un metodo di attuazione di tale gruppo

rotore in accordo con le rivendicazioni indipendenti
allegate. Le rivendicazioni da queste dipendenti
descrivono forme di realizzazione preferite o
vantaggiose dell'invenzione, comportanti ulteriori
5 aspetti vantaggiosi.

Descrizione dei disegni

[0032] Le caratteristiche e i vantaggi del
generatore eolico, del gruppo rotore e del metodo di
attuazione dello stesso risulteranno comunque evidenti
10 dalla descrizione di seguito riportata di alcuni esempi
preferiti di realizzazione, dati a titolo indicativo e
non limitativo, con riferimento alle annesse figure, in
cui:

- la figura 1 mostra una vista in pianta,
15 schematizzata, di un gruppo rotore per un generatore
eolico secondo l'arte nota;

- la figura 2 mostra una vista in pianta,
schematizzata, di un gruppo rotore per un generatore
eolico secondo una forma di realizzazione della
20 presente invenzione, soggetto alle medesime condizioni
di vento rappresentate per il gruppo rotore noto di
figura 1;

- la figura 3 mostra una vista in pianta,
schematizzata, di un gruppo rotore per un generatore
25 eolico secondo una forma di realizzazione della

presente invenzione, in cui sono stati indicati i segmenti curvilinei che compongono la traiettoria curvilinea chiusa sulla quale si muovono le pale in rotazione attorno all'asse principale.

5 - le figure 4a e 4b mostrano due viste ingrandite, di dettaglio, di due posizioni angolari del gruppo rotore della figura 2, in cui è stato rappresentato schematicamente il cambio di mura effettuato in tali posizioni secondo una forma di realizzazione della
10 presente invenzione;

- la figura 5 mostra una vista prospettica schematica di un gruppo rotore secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, in cui per comodità sono state rappresentate solo le pale eoliche
15 disposte lungo la propria traiettoria curvilinea chiusa;

- la figura 6 mostra uno schema che illustra i collegamenti tra sensori, unità elettronica di controllo, attuatori e pale eoliche, in un gruppo
20 rotore secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 7 mostra un diagramma a blocchi che illustra le fasi del metodo di attuazione di un gruppo rotore secondo una forma di realizzazione della
25 presente invenzione;

- la figura 8 mostra un diagramma a blocchi che illustra le fasi di un metodo di attuazione di un gruppo rotore secondo un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

5 Descrizione dettagliata

[0033] Con riferimento alle suddette figure, con il numero di riferimento 10 si è complessivamente indicato un gruppo rotore per un generatore eolico di potenza elettrica ad asse verticale.

10 **[0034]** Secondo l'invenzione, un gruppo rotore 10 per un generatore eolico ad asse verticale comprende un rotore centrale 2 adatto ad essere azionato in rotazione attorno ad un asse principale Z in un verso di rotazione 20.

15 **[0035]** Inoltre, secondo l'invenzione, e come rappresentato negli esempi realizzativi delle figure 2, 3 e 5 allegate, il gruppo rotore 10 comprende pale eoliche 3, 3', 3'' e ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' è adatta ad essere investita da vento in arrivo lungo una
20 direzione di vento reale V_r a muoversi in rotazione solidalmente al rotore centrale 2, lungo una traiettoria curvilinea chiusa C.

[0036] Nella presente trattazione, per chiarezza espositiva, con il termine generico "pale" ci si
25 riferisce a una qualunque struttura in grado di essere

investita da vento e portata in movimento per effetto della spinta generata dallo stesso.

[0037] Ad esempio, il termine pale comprende, senza perdere di generalità, lamine rigide, palette, lame, ma
5 anche strutture deformabili con l'azione del vento, come ad esempio vele.

[0038] Ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' è definita da una prima superficie 31 ed una seconda superficie 32, opposta a detta prima superficie 31. Tali superfici
10 definiscono l'estensione prevalente della pala eolica, come mostrato nei dettagli degli esempi realizzativi mostrati nelle figure 4a e 4b.

[0039] Con l'espressione "esposta al vento", e in generale "esposizione", si intende una configurazione
15 in cui la superficie è adatta ad essere direttamente investita dal vento, almeno prevalentemente rispetto alla superficie opposta.

[0040] Preferibilmente, ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' è collegata al rotore centrale 2 mediante un
20 dispositivo di collegamento 23. Preferibilmente, tale collegamento è conformato in modo tale che le pale eoliche siano distanziate tra loro circonferenzialmente attorno all'asse principale Z e rimangano distanziate radialmente rispetto al rotore centrale 2.

25 **[0041]** Preferibilmente, le pale eoliche 3 sono

posizionate in maniera tale da evitare che interferiscano reciprocamente durante la rotazione attorno all'asse Z e durante l'eventuale movimento singolo di ciascuna pala, ossia sono sufficientemente
5 distanziate.

[0042] Per interferenza, si intende sia un'interferenza di tipo geometrico, ossia il caso in cui le pale tendono a sovrapporsi ed ostacolarsi nel loro percorso circonferenziale attorno all'asse
10 principale Z, e/o nel loro movimento singolare, sia un'interferenza di tipo fluidodinamico, ossia il caso in cui le pale eoliche, pur essendo tra loro sufficientemente distanziate da consentire il libero movimento senza interferenze geometriche, sono
15 responsabili di generare turbolenze indesiderate tra una pala e l'altra.

[0043] Il numero ottimale di pale eoliche è funzione delle condizioni di vento presenti, della potenza erogabile dal sistema, e dei parametri di progetto del
20 generatore eolico.

[0044] Preferibilmente, il gruppo rotore 10 comprende almeno tre pale eoliche, ad esempio quattro, o cinque, o sei.

[0045] Secondo la presente invenzione, e con
25 riferimento all'esempio realizzativo mostrato in figura

3, la traiettoria curvilinea chiusa C comprende un
segmento curvilineo sottovento C_1 , in cui le pale
eoliche $3'$ si muovono in favore di vento, e da un
segmento curvilineo sopravento C_2 , in cui le pale
5 eoliche $3''$ si muovono controvento.

[0046] Per chiarezza espositiva, nella presente
trattazione ci si riferisce in maniera generica alle
pale eoliche del gruppo rotore con il numero di
riferimento 3, o con i numeri di riferimento 3, $3'$,
10 $3''$. Il riferimento $3'$ è utilizzato, nello specifico,
per indicare le pale eoliche $3'$ che si trovano
istantaneamente sul segmento curvilineo sottovento C_1 .
Allo stesso modo, il riferimento $3''$ è utilizzato nello
specifico per indicare le pale eoliche $3''$ che si
15 trovano istantemente in una posizione sul segmento
curvilineo sopravento C_2 .

[0047] È chiaro che ciascuna pala eolica 3, durante
la sua rotazione attorno all'asse principale Z , può
attraversare sia il segmento curvilineo sottovento C_1
20 che il segmento curvilineo sopravento C_2 .

[0048] In una forma di realizzazione
dell'invenzione, la traiettoria curvilinea chiusa C è
una circonferenza centrata in un punto appartenente
all'asse principale Z .

25 **[0049]** Per direzione di vento reale V_r si intende la

direzione media in cui soffia il vento in un certo istante. In altre parole, in termini geometrici, si definisce vento reale V_r il vettore che rappresenta direzione ed intensità del vento in ogni istante.

5 **[0050]** Secondo l'invenzione e con riferimento agli esempi realizzativi mostrati in figura 2 e in figura 5, inoltre, il gruppo rotore 10 comprende attuatori di pala 4, 4', 4''. Ciascun attuatore di pala di detti attuatori di pala 4, 4', 4'' è operativamente connesso
10 rispettivamente ad una di dette pale eoliche 3, 3', 3'', ed è adatto a fornire un posizionamento controllato a ciascuna di dette pale eoliche 3, 3', 3''.

15 **[0051]** Per chiarezza espositiva, nella presente trattazione ci si riferisce in maniera generica agli attuatori di pala del gruppo rotore con il numero di riferimento 4, o con i numeri di riferimento 4, 4', 4''. Il riferimento 4' è utilizzato, nello specifico, per indicare l'attuatore di pala 4' operativamente
20 connesso alla pala eolica 3' che si trova istantaneamente sul segmento curvilineo sottovento C_1 . Allo stesso modo, il riferimento 4'' è utilizzato nello specifico per indicare l'attuatore di pala 4'' operativamente connesso alla pala eolica 3'' che si
25 trova istantaneamente in una posizione sul segmento

curvilineo sopravento C_2 .

[0052] Preferibilmente, ciascun attuatore di pala 4, 4', 4'' è associato in maniera indipendente a ciascuna pala 3, 3', 3'', ossia, c'è un attuatore di pala 4, 4', 4'' per ciascuna pala 3, 3', 3''.

[0053] Alternativamente, un attuatore 4 può controllare più di una pala 3, 3', 3'' e comandare ciascuna di esse per ruotare in maniera indipendente dalle altre.

10 **[0054]** A titolo esemplificativo e non limitativo, dunque, gli attuatori di pala 4, 4', 4'' possono essere attuatori elettrici direttamente connessi ad un albero di pala, oppure meccanismi di trasmissione dedicati per ciascuna pala eolica e operativamente connessi ad un
15 attuatore elettrico generale, oppure attuatori pneumatici.

[0055] Secondo l'invenzione, ciascuna pala eolica è adatta a raggiungere, durante la rotazione attorno all'asse principale Z, una posizione di allontanamento
20 T.

[0056] Si definisce posizione di allontanamento T una posizione in cui la pala eolica 3' si trova sul segmento curvilineo sottovento C_1 , e in cui la direzione di vento reale V_r è tangente alla traiettoria
25 curvilinea chiusa C. Ossia, in altre parole, in tale

posizione, la pala eolica 3' si sta muovendo in rotazione attorno all'asse principale Z in favore di vento.

[0057] Secondo la presente invenzione, l'attuatore
5 di pala 4' è adatto a comandare la pala eolica 3' in modo tale che, prima di raggiungere la posizione di allontanamento T, la pala eolica 3' è in una configurazione mura a sinistra A, in cui la prima superficie 31 è esposta al vento e la seconda
10 superficie 32 è coperta dal vento, e in modo tale che, quando la pala eolica raggiunge detta posizione di allontanamento T, la pala eolica 3' è in una configurazione mura a dritta B, in cui la seconda superficie 32 è esposta al vento e la prima superficie
15 31 è coperta dal vento. In altre parole, raggiungendo la posizione di allontanamento T, la pala eolica 3' ha eseguito un cambio di mura. Tale configurazione è mostrata in una forma di realizzazione, nell'esempio realizzativo di figura 4b.

20 **[0058]** In altre parole, l'attuatore di pala 4' della pala eolica 3' che si trova nella posizione di allontanamento T è adatto ad azionarla in maniera anticipata, in maniera tale che, una volta che tale pala eolica 3' raggiunge la posizione di allontanamento
25 T, la superficie che era esposta al vento nella

posizione appena precedente nel verso di rotazione 20, non è più esposta al vento.

[0059] È chiaro che i termini utilizzati per definire le configurazioni mura a sinistra A e mura a dritta B, provengono dal vocabolario nautico e sono
5 utilizzati al solo scopo di rendere la presente discussione il più possibile chiara. È altresì chiaro che, qualora il rotore centrale 2 ruotasse in verso opposto al verso di rotazione 20 e fosse soggetto alle
10 medesime condizioni di vento che soffia nella medesima direzione di vento reale V_r , le due configurazioni sarebbero scambiate, ossia la pala eolica sarebbe azionata in rotazione per passare da una configurazione mura a dritta, ad una configurazione mura a sinistra.

[0060] In altre parole, utilizzando un'espressione del gergo nautico e in particolare velico, associando la pala ad una vela di una barca investita da vento, la pala eolica 3' è attuata per operare un "cambio di mura" in favore di vento.

[0061] Per ulteriore chiarezza, sempre in termini nautici, si può dire che il cambio di mura che si effettua in favore di vento è anche detto "abbattuta". La pala eolica 3' è dunque adatta ad essere abbattuta, affinché la spinta velica generata dal vento sulla pala
25 eolica 3' stessa sia massimizzata.

[0062] Infatti, in tale posizione di allontanamento T, se la pala eolica 3' non fosse abbattuta, la spinta generata dal vento sulla pala stessa per provocare la rotazione del gruppo rotore 10 non sarebbe
5 massimizzata.

[0063] Preferibilmente, quando abbattuta, ossia quando portata dalla configurazione mura a sinistra A alla configurazione mura a dritta B, la pala eolica 3' è disposta a 90° rispetto alla direzione di vento reale
10 Vr.

[0064] Preferibilmente, dunque, quando le pale sono palette rigide e lineari, nella configurazione mura a dritta B la prima e la seconda superficie 31, 32 si dispongono sostanzialmente perpendicolari rispetto alla
15 direzione del vento.

[0065] Preferibilmente, ciascun attuatore di pala 4, 4', 4'' è adatto a comandare la rispettiva pala eolica 3, 3', 3'' in rotazione.

[0066] In una forma preferita di realizzazione, il
20 gruppo rotore 10 comprende inoltre un'unità elettronica di controllo 5, configurata per inviare un comando di azionamento a detti attuatori di pala 4, 4', 4'' per azionare ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' in rotazione.

[0067] Preferibilmente, ciascuna pala eolica 3, 3',
25 3'' è operabile in rotazione dal rispettivo attuatore

di pala 4, 4', 4'' attorno ad un proprio asse di pala K in maniera indipendente dalle altre pale eoliche.

[0068] Preferibilmente, l'asse di pala K di ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' è sostanzialmente parallelo
5 all'asse principale Z.

[0069] In una forma preferita di realizzazione, quando una pala eolica 3' si trova in tale posizione di allontanamento T, l'unità elettronica di controllo 5 è configurata per inviare un comando di rotazione al
10 rispettivo attuatore di pala 4' della pala eolica 3', in modo tale che detto attuatore di pala 4' comanda la pala eolica 3' in rotazione per portarla dalla configurazione mura a sinistra A alla configurazione mura a dritta B.

15 **[0070]** In una forma di realizzazione, quando la pala eolica 3' si trova nella posizione di allontanamento T, il rispettivo attuatore di pala 4' attua la pala eolica 3' in rotazione per compiere mezzo giro, ossia per compiere una rotazione di 180° attorno al proprio asse
20 di pala K.

[0071] Preferibilmente, come mostrato nell'esempio di figura 5, l'asse di pala K coincide con un bordo di pala 300 che hanno in comune la prima superficie 31 e la seconda superficie 32, ossia il bordo o la parete di
25 piccolo spessore che connette la prima superficie 31 e

la seconda superficie 32 quando le pale 3 sono vele o pale di spessore sottile.

[0072] In una forma preferita di realizzazione, ciascuna pala eolica 3 è adatta a compiere un giro
5 completo attorno al proprio asse di pala K.

[0073] In una forma preferita di realizzazione, ciascun attuatore 4, 4', 4'' può azionare in rotazione la rispettiva pala eolica 3, 3', 3'' per ruotare sia in senso orario, che in senso antiorario. La rotazione
10 della pala eolica 3 attorno al proprio asse di pala K non è vincolata ad un limite di corsa. In altre parole, ciascuna pala 3, 3', 3'' è operabile in rotazione per compiere un giro completo ed il suo ritorno, sia in verso orario, che in verso antiorario.

15 **[0074]** Ad esempio, il gruppo rotore 10 comprende motori elettrici collegati direttamente o mediante gruppi riduttori meccanici o mediante frizioni a comando automatico a ciascuna pala eolica 3, 3', 3''.

[0075] In una forma di realizzazione particolarmente
20 vantaggiosa, il gruppo rotore 10 comprende anche un sensore di vento 6, ad esempio un anemometro, adatto a rilevare in ogni istante direzione e, preferibilmente, intensità del vento.

[0076] Vantaggiosamente, la presenza di un sensore
25 di vento 6 consente di avere in maniera continuativa

una lettura fedele del vento, e di individuare praticamente in ogni istante variazioni nell'intensità e nella direzione dello stesso, e di agire di conseguenza sulle pale eoliche 3, 3', 3'' per portarle
5 nella posizione ottimale, ossia per orientarle in maniera tale che sia massimizzata la spinta velica generata dal vento sulla pala eolica stessa.

[0077] Preferibilmente, il gruppo rotore 10 comprende un sensore di vento 6 dedicato per ciascuna
10 pala eolica 3.

[0078] In questo caso, ancor più vantaggiosamente, è possibile avere una lettura fedele del vento anche in condizioni perturbate per l'effetto dell'azione delle pale circostanti alla pala eolica 3 per la quale si
15 effettua la misurazione.

[0079] Nella presente trattazione, con il termine vento apparente V_{app} ci si avvale dall'analogia nautica, e ci si riferisce ad un vettore che rappresenta il vento che effettivamente agisce su
20 ciascuna pala.

[0080] Di preferenza, il vento apparente V_{app} si calcola come la somma vettoriale tra il vento reale, e il cosiddetto vento di movimento, ossia un vento fittizio generato a causa della velocità di avanzamento
25 della pala rispetto ad esso.

[0081] In una forma di realizzazione, il gruppo rotore 10 comprende un sensore di vento 6 dedicato per ciascuna pala eolica 3 e solidale con essa.

[0082] In tale forma di realizzazione, il vento
5 apparente V_{app} di ciascuna pala è rilevato direttamente, mediante un anemometro dedicato, solidale con ciascuna pala.

[0083] In una forma di realizzazione vantaggiosa, inoltre, il gruppo rotore 10 comprende un rilevatore di
10 angolazione 7, ad esempio un goniometro, adatto a rilevare in ogni istante l'orientamento relativo di ciascuna pala eolica rispetto alla direzione di vento reale V_r e/o rispetto alla direzione di vento apparente V_{app} .

[0084] È chiaro che il rilevatore di angolazione 7 è
15 adatto a rilevare l'orientamento relativo di ciascuna pala eolica anche rispetto ad altri sistemi di riferimento, come ad esempio rispetto ad una posizione canonica di pala predeterminata, o rispetto alla
20 direzione radiale, o rispetto alla direzione ortogonale alla direzione di vento reale V_r .

[0085] In una variante particolarmente vantaggiosa, l'unità elettronica di controllo 5 è configurata per comandare ciascuno di detti attuatori di pala 4, 4',
25 4'' in funzione di un'elaborazione delle rilevazioni

operate dal sensore di vento 6 e/o dal rilevatore di angolazione 7. Un esempio schematico del collegamento tra i sensori e l'unità elettronica di controllo 5 è rappresentato in figura 6.

5 **[0086]** Preferibilmente, il gruppo rotore 10
comprende inoltre un processore elettronico 9 adatto ad elaborare le rilevazioni effettuate dal sensore di vento 6 e/o dal rilevatore di angolazione 7, e trasformare dette rilevazioni per essere lette
10 dall'unità elettronica di controllo 5.

[0087] Preferibilmente, inoltre, il gruppo rotore 10 comprende inoltre un ulteriore sensore 8 adatto a operare una rilevazione di ulteriori parametri sulle pale eoliche 3, 3', 3''. Ad esempio, l'ulteriore
15 sensore 8 può essere un ulteriore rilevatore di angolazione, o un rilevatore di velocità.

[0088] Le modalità preferite di rilevazione, elaborazione delle rilevazioni e comando degli attuatori saranno meglio descritte nel seguito della
20 presente trattazione, riferendosi ad un metodo di attuazione di un gruppo rotore secondo la presente invenzione.

[0089] In una forma di realizzazione alternativa, in cui il vento è indirizzato a spirare senza subire
25 repentini cambi nella direzione o nell'intensità, ed è

in un certo senso prevedibile (ad esempio, perché
condotto in una certa direzione per mezzo di gallerie
del vento, canalizzazioni appositamente realizzate,
ecc.), il gruppo rotore 10 non è dotato di sensori di
5 vento. In tale forma di realizzazione, le pale eoliche
3, 3', 3'' sono orientabili singolarmente in maniera
determinata e predetta a priori.

[0090] In una forma preferita di realizzazione,
ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' è collegata al rotore
10 centrale 2 mediante un rispettivo dispositivo di
collegamento 23.

[0091] Preferibilmente, il dispositivo di
collegamento 23 è una qualsiasi struttura adatta a
collegare la pala eolica 3 al rotore centrale 2,
15 trasmettendo il moto di rotazione attorno all'asse
principale Z in modo tale che ciascuna pala sia in
grado di ruotare solidalmente con il rotore centrale 2
e al contempo senza vincolare angolarmente in alcun
modo la singola rotazione di ciascuna pala 3 attuata
20 dal rispettivo attuatore di pala 4.

[0092] Ad esempio, il dispositivo di collegamento 23
è un braccio di connessione, o può essere una struttura
a più componenti, come un braccio ed un supporto per la
pala, o un braccio e più supporti.

25 **[0093]** Ad esempio, il dispositivo di collegamento 23

è un traliccio o un disco o una struttura galleggiante (tale variante trova applicazione in particolare in forme realizzative off-shore).

[0094] In una forma di realizzazione
5 dell'invenzione, come mostrato nell'esempio realizzativo di figura 3, il segmento curvilineo sopravento C_2 della traiettoria curvilinea chiusa C comprende un settore di bordeggio C_{20} , che si estende angolarmente attorno all'asse principale Z per un certo
10 angolo morto α e che include almeno una posizione di risalita T' , opposta alla posizione di allontanamento T . In tale posizione di risalita T' , la direzione di vento reale V_r è tangente alla traiettoria curvilinea chiusa C .

15 **[0095]** In altre parole, quando si trova in tale posizione di risalita T' , la pala eolica $3''$ si sta muovendo in rotazione attorno all'asse principale Z controvento, ossia sta "risalendo" il vento.

[0096] Si chiarisce che, con l'espressione "opposta
20 alla posizione di allontanamento T'' si intende opposta rispetto ad un piano parallelo e passante all'asse Z . Nella variante realizzativa in cui la traiettoria curvilinea chiusa C è una circonferenza, tali due posizioni sono diametralmente opposte.

25 **[0097]** Ciascuna pala eolica $3''$ è adatta a

raggiungere una posizione compresa in tale settore di
bordeggio C_{20} .

[0098] Secondo tale forma di realizzazione, con
riferimento all'esempio di figura 4a, l'attuatore di
5 pala 4'' è adatto a comandare la rispettiva pala eolica
3'', in modo tale che quando la pala eolica 3''
raggiunge una posizione compresa in tale settore di
bordeggio C_{20} , la pala eolica 3'' è in una
configurazione sventata D, nella quale oppone la minima
10 resistenza al vento.

[0099] In altre parole, secondo tale forma di
realizzazione, le pale eoliche 3'' sono adatte ad
essere attuate in maniera tale da opporre la minore
superficie possibile all'azione del vento, per
15 consentire la rotazione del gruppo rotore evitando che
le pale eoliche 3'' si oppongano alla risalita del
vento.

[00100] La terminologia "sventata" deriva nuovamente
dal vocabolario nautico; si potrebbe dire, in ulteriori
20 altre parole, che le pale eoliche 3'' che si trovano
nel settore di bordeggio C_{20} sono adatte ad essere
attuate per essere disposte nella direzione del vento,
in modo da lasciarle fileggiare ed annullare l'effetto
propulsivo che andrebbe ad opporsi al moto rotatorio
25 del rotore stesso.

[00101] Infatti, se si lasciassero le pale eoliche 3'' che si trovano in risalita nel settore di bordeggio C₂₀ disposte con almeno una tra la prima e la seconda superficie 31, 32 esposta al vento, la spinta velica generata dal vento su tali pale 3'' si opporrebbe alla rotazione del gruppo rotore, generando perdite di carico.

[00102] È chiaro che anche la posizione di risalita T' è una delle posizioni comprese nel settore di bordeggio C₂₀.

[00103] Preferibilmente, con riferimento alla figura 4a, nella configurazione sventata D, la pala eolica 3'' è sostanzialmente allineata con la direzione di vento apparente V_{app}, ossia né la prima 31, né la seconda superficie 32 sono esposte al vento apparente V_{app}.

[00104] È chiaro che, nella posizione di risalita T', la direzione di vento apparente V_{app} coincide con la direzione di vento reale V_r, e che quindi, in configurazione sventata D, nella posizione di risalita T', la pala si trova allineata anche con la direzione di vento reale V_r.

[00105] Preferibilmente, quando una pala eolica 3'' si trova in una posizione compresa nel settore di bordeggio C₂₀, l'unità elettronica di controllo 5 è configurata per inviare un comando al rispettivo

attuatore 4'' della pala eolica 3'', in modo tale che detto attuatore 4'' comanda la pala eolica 3'' per portarla in tale configurazione sventata D.

5 **[00106]** Con il termine "allineata" si intende preferibilmente una configurazione per cui le superfici 31, 32 della pala eolica 3'' attuata si trovano sostanzialmente parallele alla direzione del vento apparente V_{app} .

10 **[00107]** Quando la pala eolica 3'' si trova nella posizione di risalita T' , le superfici 31, 32 della pala eolica 3'' si trovano sostanzialmente parallele anche alla direzione di vento reale V_r .

15 **[00108]** Vantaggiosamente, la possibilità di portare le pale eoliche in una configurazione sventata, consente di ridurre le perdite di carico e di ottimizzare la potenza erogabile dal sistema.

20 **[00109]** Preferibilmente, l'angolo morto α ha il vertice sul centro della traiettoria curvilinea chiusa C , o, più genericamente, sull'asse principale Z , ed è preferibilmente compreso tra 60° e 120° , preferibilmente è 90° .

25 **[00110]** Preferibilmente, le pale eoliche 3'' sono in configurazione sventata D solo se si trovano nella posizione di risalita T' .

25 **[00111]** In una forma di realizzazione

dell'invenzione, le pale eoliche 3, 3', 3'' sono vele, ossia sono almeno parzialmente realizzate in un materiale deformabile dall'azione del vento.

[00112] Preferibilmente, il gruppo rotore 10
5 comprende un mozzo centrale 21 fisso, attorno al quale ruota il rotore centrale 2. Tale mozzo centrale 21 è adatto ad essere vincolato ad una base di fissaggio.

[00113] In una forma di realizzazione, la base di fissaggio si trova sulla terraferma.

10 **[00114]** In una particolare forma di realizzazione alternativa, la base di fissaggio si trova in un bacino idrico, ad esempio in un lago, o un invaso, o in mare, preferibilmente al largo, al di sotto del livello del mare.

15 **[00115]** Ossia, in tale forma di realizzazione particolare, la presente invenzione è applicabile per sistemi di generazione eolica off-shore.

[00116] Ad esempio, in un esempio realizzativo, il gruppo rotore 10 secondo la presente invenzione è
20 costituito da un mozzo centrale 21, fissato ad una base di fissaggio sott'acqua, ad esempio sul fondo di un bacino idrico di piccole o grandi dimensioni, oppure galleggiante sul bacino, attorno al quale è adatto a ruotare il rotore centrale 2.

25 **[00117]** In tale forma di realizzazione off-shore, le

pale eoliche 3, 3', 3'' sono costituite preferibilmente dalle vele di vere e proprie imbarcazioni, di piccole, medie, o grandi dimensioni, che navigano su un percorso curvilineo, preferibilmente circonferenziale, attorno
5 al rotore centrale 2.

[00118] In tale forma di realizzazione off-shore, preferibilmente, il dispositivo di collegamento 23 è costituito dalle imbarcazioni stesse e da un braccio o una connessione che connette tali imbarcazioni al
10 rotore centrale 2.

[00119] Tale variante realizzativa, vantaggiosamente, ha un impatto ridotto sullo skyline del luogo in cui è realizzata, e vantaggiosamente è in grado di sfruttare lo spazio di mare, lago o oceano, senza necessitare
15 l'occupazione di spazio sulla terraferma, che potrebbe essere usato vantaggiosamente per altre applicazioni, ad esempio per ospitare edifici o coltivazioni.

[00120] Forma oggetto della presente invenzione anche un metodo di attuazione di un gruppo rotore 10 secondo
20 la presente invenzione.

[00121] In un aspetto dell'invenzione, il metodo di attuazione comprende le seguenti fasi:

b1) individuare la pala eolica 3' che sta raggiungendo la posizione di allontanamento T;

25 c1) in funzione della fase b1), azionare il rispettivo

attuatore di pala 4' della pala eolica 3' individuata;
d1) ruotare la pala eolica 3' individuata in modo che
passi dalla configurazione mura a sinistra A alla
configurazione mura a dritta B.

5 **[00122]** Preferibilmente, le fasi da b1) a d1)
avvengono nell'ordine sopraelencato.

[00123] In una variante vantaggiosa del metodo, il
metodo di attuazione comprende inoltre, prima della
fase b1), una fase a1) che prevede di rilevare la
10 posizione angolare di ciascuna pala eolica 3, 3', 3''
rispetto alla direzione di vento reale Vr.

[00124] Preferibilmente, tale fase a1) è svolta per
mezzo di uno o più sensori di vento 6 e per mezzo di
uno o più rilevatori di angolazione 7, già descritti in
15 precedenza nella presente trattazione.

[00125] Inoltre, preferibilmente, il metodo di
attuazione comprende inoltre, tra la fase a1) e la fase
b1), una fase a2) che prevede, su un'unità elettronica
di controllo 5, di elaborare la rilevazione effettuata
20 nella fase a1) ed inviare al rispettivo attuatore di
pala (4, 4', 4'') di ciascuna pala eolica (3, 3', 3'')
un comando di azionamento in funzione di detta
rilevazione elaborata.

[00126] Secondo un ulteriore forma realizzativa della
25 presente invenzione, schematizzata in una forma

realizzativa in figura 7, il metodo di attuazione comprende, durante l'esecuzione delle fasi da a1) a d1), anche le seguenti fasi:

- 5 a) per mezzo di sensori, rilevare direzione e preferibilmente intensità del vento e rilevare posizione angolare, e preferibilmente velocità angolare del rotore centrale 2 in rotazione attorno all'asse centrale Z;
- 10 b) su un processore elettronico 9, per ciascuna di dette pale eoliche 3, 3', 3'' calcolare direzione e preferibilmente, intensità, di un rispettivo vento apparente V_{app} che agisce su ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' in funzione dei parametri rilevati nella fase a);
- 15 c) sul processore elettronico 9, calcolare una posizione angolare ottimale γ_{opt} per ciascuna di dette pale eoliche 3, 3', 3'' rispetto alla direzione del rispettivo vento apparente V_{app} , in funzione dei rispettivi parametri rilevati nella fase b), detta
20 posizione angolare ottimale γ_{opt} essendo tale da massimizzare la spinta generata dal vento sulla rispettiva pala eolica 3, 3', 3'';
- 25 d) per mezzo di un sensore di posizione angolare, rilevare una posizione angolare effettiva γ_{eff} di ciascuna pala rispetto alla direzione del rispettivo

vento apparente V_{app} ;

e) sull'unità elettronica di controllo 5, per ciascuna di dette pale eoliche 3, 3', 3'', confrontare la posizione angolare ottimale γ_{opt} con la posizione angolare effettiva γ_{eff} rilevata, ed inviare un
5 segnale di comando al rispettivo attuatore di pala 4, 4', 4'' per azionare la rispettiva pala eolica 3, 3', 3'';

f) azionare le pale eoliche 3, 3', 3'' per portarle
10 dalla rispettiva posizione angolare effettiva γ_{eff} nella posizione angolare ottimale γ_{opt} , in funzione del segnale di comando ricevuto.

[00127] Preferibilmente, in funzione del segnale di comando inviato al rispettivo attuatore di pala 4, 4',
15 4'' nella fase e), durante la fase f), ciascun attuatore di pala 4, 4', 4'' aziona ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' in rotazione, preferibilmente attorno al proprio asse di pala K, per portarla dalla rispettiva posizione angolare effettiva γ_{eff} nella
20 posizione angolare ottimale γ_{opt} .

[00128] È chiaro dalla presente trattazione che le fasi a) e b) possono essere sostituite da un'unica fase ab') di rilevare, per mezzo di sensori, direzione e preferibilmente intensità di un vento apparente V_{app}
25 per ciascuna pala eolica.

[00129] È altresì chiaro che affinché sia svolta tale fase ab') è sufficiente prevedere un rispettivo sensore di vento 6 solidale con ciascuna pala eolica.

[00130] Secondo un ulteriore aspetto della presente
5 invenzione, le fasi da a) a f) del metodo di attuazione appena descritto, costituiscono un metodo di attuazione di per sé implementabile per l'attuazione di un gruppo rotore secondo la presente invenzione, senza che il metodo comprenda anche le fasi da al) a dl) descritte
10 in precedenza.

[00131] Preferibilmente, le fasi da a) ad f) avvengono nell'ordine con cui sono state elencate.

[00132] È chiaro che, secondo tale aspetto della presente invenzione, il metodo di attuazione comprende
15 anche una fase iniziale a0) di prevedere un gruppo rotore 10 secondo la presente invenzione.

[00133] In altre parole, in una forma di realizzazione, il gruppo rotore 10 è adatto ad attuare il metodo secondo la presente invenzione.

20 **[00134]** Di preferenza, nella fase a) la rilevazione della direzione e dell'intensità del vento è effettuata per mezzo di un sensore di vento 6 come descritto in precedenza relativamente ad una forma di realizzazione del gruppo rotore secondo la presente invenzione.

25 **[00135]** Preferibilmente, inoltre, la posizione

angolare del rotore centrale 2 è rilevata con riferimento ad un sistema di riferimento fisso, ad esempio, ad una posizione di riferimento del rotore fermo, oppure, è rilevata rispetto alla direzione del vento, preferibilmente alla direzione di vento reale V_r .

[00136] Tale parametro è fondamentale, in accordo ad una forma realizzativa della presente invenzione, per la regolazione dell'orientamento angolare delle pale eoliche 3. Infatti, se la pala eolica 3 si trova allineata con il vento apparente V_{app} , la spinta generata dal vento su tale pala è nulla. Di conseguenza, per massimizzare la spinta generata dal vento e di conseguenza ottimizzare il sistema, è fondamentale confrontare la posizione angolare della pala eolica 3 rispetto a tale vento apparente V_{app} , in maniera tale da massimizzare l'angolo di incidenza tra la superficie 31 o 32 della pala eolica 3 che si trova esposta al vento, ed il vento apparente stesso V_{app} .

[00137] In altre parole, è fondamentale massimizzare la cosiddetta portanza generata dal vento su ciascuna pala, o meglio, la componente tangenziale di tale portanza.

[00138] Sempre in termini nautici, dunque, preferibilmente, si definisce anche un parametro di

spinta velica F_v , che non è altro che la forza propulsiva generata dal vento che agisce sulla pala eolica 3. Tale spinta velica F_v è la forza che agisce sempre in direzione perpendicolare alla superficie 31, 32 esposta al vento.

[00139] In una forma preferita di realizzazione, con riferimento allo schema di una forma di realizzazione del metodo rappresentato in figura 8, dopo la fase b), il metodo di attuazione prevede di attuare, nel seguente ordine:

- una fase x) che prevede di calcolare per ciascuna pala eolica 3, 3', 3'' una rispettiva spinta velica F_v , in funzione del rispettivo vento apparente V_{app} calcolato nella fase b);

- una fase y) che prevede di identificare la pala eolica 3'' che sta per raggiungere una posizione angolare per cui la spinta velica F_v sarebbe minore o uguale a zero;

- una fase w) che prevede di azionare tale pala eolica 3'' per portarla in configurazione sventata D.

[00140] In una forma preferita di realizzazione, la fase w) prevede di azionare la pala eolica 3'' in rotazione, preferibilmente attorno al proprio asse di pala K, per portarla in configurazione sventata D.

[00141] Preferibilmente, dunque, come già descritto

in precedenza, la pala eolica 3'' in configurazione sventata D è allineata con la direzione del vento, ossia in modo tale che né la prima 31, né la seconda 32 superficie di tale pala eolica 3 siano esposte al
5 vento.

[00142] In altre parole, in tale forma di realizzazione, il metodo di attuazione consente di portare la pala eolica 3'' in configurazione sventata ogniqualevolta la spinta velica F_v tenderebbe ad opporsi
10 al moto di rotazione del gruppo rotore 2.

[00143] È chiaro che tale condizione si verifica quando la pala eolica 3'' si trova nella posizione di risalita T' , o quando più in generale si trova in una posizione qualsiasi compresa nel settore di bordeggio
15 C_{20} , definita in precedenza nella presente trattazione. Pertanto, tale metodo in questa forma di realizzazione, consente di verificare in maniera indiretta quando la pala eolica 3'' si trova in una posizione compresa nel settore di bordeggio C_{20} , mediante il calcolo della
20 spinta velica F_v agente sulle pale eoliche 3, 3', 3'', in ogni istante.

[00144] È chiaro inoltre che anche in questo caso, sono valide le medesime considerazioni descritte in precedenza riguardo al significato dei termini
25 "esposizione" ed "allineamento".

[00145] In una forma di realizzazione vantaggiosa, rappresentata schematicamente nella figura 8, inoltre, il metodo di attuazione prevede, dopo la fase c), anche, nell'ordine:

- 5 - una fase j) che prevede di confrontare la posizione angolare ottimale $\gamma\text{-opt}$ di ciascuna di dette pale eoliche 3, 3', 3'' con la direzione di vento apparente V_{app} ;
- una fase h) che prevede di identificare la pala
10 eolica 3' per cui la posizione angolare ottimale $\gamma\text{-opt}$ sarebbe perpendicolare rispetto alla direzione di vento apparente V_{app} ;
- una fase i) che prevede di comandare il rispettivo attuatore di pala 4' per portare tale pala eolica 3' in
15 detta posizione angolare ottimale $\gamma\text{-opt}$, sfasata di 180° .

[00146] In altre parole, in tale forma di realizzazione, il metodo di attuazione consente di portare la pala eolica 3' in abbattuta, ossia di
20 passare dalla configurazione mura a sinistra A alla configurazione mura a dritta B ogniquale volta la posizione angolare ottimale $\gamma\text{-opt}$ calcolata porterebbe la pala eolica 3' a disporsi perpendicolarmente alla direzione del vento.

25 **[00147]** È chiaro che tale condizione si verifica

quando la pala eolica 3' si trova nella posizione di allontanamento T, definita in precedenza nella presente trattazione. Pertanto, in tale forma di realizzazione, tale metodo consente di verificare indirettamente
5 quando la pala eolica 3' si trova nella posizione di allontanamento T, mediante il confronto tra la posizione angolare ottimale γ_{opt} e la direzione di vento apparente V_{app} relativi alla medesima pala eolica 3', e di portare tale pala eolica 3 in abbattuta.

10 **[00148]** È chiaro che forma oggetto della presente invenzione anche un generatore eolico comprendente un gruppo rotore 10 secondo la presente invenzione, collegato operativamente con un generatore di potenza elettrica, ad esempio un motore elettrico, o un
15 alternatore elettrico, o una dinamo.

[00149] Preferibilmente, il motore elettrico è collegato elettricamente con almeno uno tra un inverter, un quadro elettrico, dispositivi di accumulo di carica elettrica e una rete elettrica.

20 **[00150]** Innovativamente, il gruppo rotore, il metodo di attuazione dello stesso ed il generatore eolico, oggetto della presente invenzione, adempiono ampiamente allo scopo prefissato, superando le problematiche tipiche dell'arte nota.

[00151] Innovativamente, infatti, il gruppo rotore secondo la presente invenzione risolve brillantemente il problema tecnico di ottimizzare le prestazioni del generatore eolico indipendentemente dalle posizioni
5 delle pale rispetto al vento.

[00152] Vantaggiosamente, il rendimento del gruppo rotore per generatore eolico secondo l'invenzione è ottimizzabile in tempo reale, grazie all'utilizzo di un sistema di attuazione indipendente per ciascuna pala
10 eolica.

[00153] Vantaggiosamente, inoltre, il generatore eolico secondo la presente invenzione si presta ad essere accoppiato con un sistema fotovoltaico e con generici sistemi di accumulo.

[00154] Secondo un vantaggio ulteriore, il presente gruppo rotore e di conseguenza il generatore eolico comprendente un tale gruppo rotore hanno un minimo impatto ambientale, notevolmente ridotto rispetto ai generatori eolici convenzionali, ad esempio rispetto
15 alle turbine eoliche ad asse orizzontale.

[00155] Secondo un vantaggio ancora ulteriore, il presente gruppo rotore per generatore eolico garantisce un'ampia flessibilità progettuale, ossia una vasta possibilità di ottimizzare i principali parametri
25 geometrici e costruttivi in fase di design.

[00156] Vantaggiosamente, il gruppo rotore per generatore eolico descritto si presta ad essere realizzato in una grande varietà di materiali.

[00157] Vantaggiosamente, inoltre, il generatore
5 eolico descritto è scalabile e modulabile secondo le esigenze costruttive e applicative.

[00158] Secondo un ulteriore vantaggio, il presente gruppo rotore è in grado di massimizzare il rendimento del sistema anche utilizzando pale di forma simmetrica
10 e poligonale semplice, senza necessitare l'uso di pale di forme particolari e di complessa realizzazione.

[00159] Vantaggiosamente, inoltre, il metodo di attuazione descritto consente di ottimizzare in tempo reale il rendimento del generatore eolico, intervenendo
15 solo sull'inclinazione delle pale rispetto alla direzione del vento.

[00160] Vantaggiosamente, inoltre, il metodo di attuazione secondo la presente invenzione consente di monitorare in tempo reale la variazione del vento in
20 termini di direzione ed intensità, e di intervenire repentinamente qualora si verificassero situazioni di pericolo, portando tutte le pale in configurazione di allineamento con la direzione del vento.

[00161] Secondo un ulteriore vantaggio, inoltre, il
25 presente metodo di attuazione, grazie all'applicazione

di concetti nautici allo sfruttamento del vento da parte di ciascuna pala, consente di massimizzare la spinta velica generata dal vento sulle pale, in ogni istante ed in tempo reale.

5 **[00162]** Secondo un aspetto ulteriormente vantaggioso, il generatore eolico secondo la presente invenzione si presta ad essere modificato nel design e ad essere applicato nei più diversi contesti di utilizzo. Ad esempio, il presente gruppo rotore è adatto ad essere
10 utilizzato in sistemi off-shore, o in sistemi su terra, delle più diverse dimensioni.

[00163] È chiaro che un tecnico del settore, al fine di soddisfare esigenze contingenti, potrebbe apportare modifiche all'invenzione, tutte contenute nell'ambito
15 di tutela come definito dalle rivendicazioni seguenti.

TITOLARE: FABRIZIO GIANNICI

RIVENDICAZIONI

1. Gruppo rotore (10) per un generatore eolico ad asse
5 verticale comprendente:

- un rotore centrale (2) adatto ad essere azionato in
rotazione attorno ad un asse principale (Z) in un verso
di rotazione (20),

- pale eoliche (3, 3', 3'') collegate al rotore centrale
10 (2) ed adatte ad essere investite da vento in arrivo
lungo una direzione di vento reale (Vr) ed a muoversi in
rotazione, solidalmente al rotore centrale (2), lungo
una traiettoria curvilinea chiusa (C) che comprende un
segmento curvilineo sottovento (C₁), in cui le pale
15 eoliche (3') si muovono in favore di vento, e da un
segmento curvilineo sopravento (C₂), in cui le pale
eoliche (3'') si muovono controvento;

- attuatori di pala (4, 4', 4''), in cui ciascun
attuatore di pala (4, 4', 4'') di detti attuatori di
20 pala (4, 4', 4'') è operativamente connesso ed è adatto
a fornire un posizionamento controllato rispettivamente
ad una di dette pale eoliche (3, 3', 3''), in cui
ciascuna pala eolica (3, 3', 3'') è definita da una prima
superficie (31) e da una seconda superficie (32), opposta
25 a detta prima superficie (31),

ed in cui ciascuna pala eolica (3, 3', 3''), durante la rotazione attorno all'asse principale (Z), è adatta a raggiungere una posizione di allontanamento (T) in cui la pala eolica (3') si trova sul segmento curvilineo sottovento (C_1), e in cui la direzione di vento reale (V_r) è tangente a detta traiettoria curvilinea chiusa (C),

detto gruppo rotore (10) essendo caratterizzato dal fatto che, l'attuatore di pala (4') è adatto a comandare la pala eolica (3') in modo tale che, prima di raggiungere detta posizione di allontanamento (T), la pala eolica (3') è in una configurazione mura a sinistra (A) in cui la prima superficie (31) è esposta al vento e la seconda superficie (32) è coperta dal vento,

e in modo tale che, quando la pala eolica raggiunge detta posizione di allontanamento (T), la pala eolica (3') è in una configurazione mura a dritta (B) in cui la seconda superficie (32) è esposta al vento e la prima superficie (31) è coperta dal vento, cioè la pala eolica (3') ha eseguito un cambio di mura.

2. Gruppo rotore (10) secondo la rivendicazione 1, in cui l'attuatore di pala (4') è adatto a comandare la pala eolica (3') in rotazione, detto gruppo rotore (10) comprendendo inoltre un'unità elettronica di controllo (5), configurata per inviare un comando di rotazione a

detti attuatori di pala (4, 4', 4'') per azionare ciascuna pala eolica (3, 3', 3'') in rotazione.

3. Gruppo rotore (10) secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui ciascuna pala eolica (3, 3', 3'') è operabile in
5 rotazione dal rispettivo attuatore di pala (4, 4', 4'') attorno ad un proprio asse di pala (K) sostanzialmente parallelo a detto asse principale (Z), in maniera indipendente dalle altre pale eoliche.

4. Gruppo rotore (10) secondo la rivendicazione 1 o 2
10 o 3, comprendente un sensore di vento (6), ad esempio un anemometro, adatto a rilevare in ogni istante direzione e, preferibilmente, intensità del vento.

5. Gruppo rotore (10) secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, comprendente un rilevatore di
15 angolazione (7), adatto a rilevare in ogni istante l'orientamento relativo di ciascuna pala eolica rispetto alla direzione di vento reale (V_r).

6. Gruppo rotore (10) secondo le rivendicazioni 2, 4 e 5, in cui l'unità elettronica di controllo (5) è
20 configurata per comandare ciascuno di detti attuatori di pala (4, 4', 4'') in funzione di un'elaborazione delle rilevazioni operate dal sensore di vento (6) e/o dal rilevatore di angolazione (7).

7. Gruppo rotore (10) in accordo con la rivendicazione
25 3, in cui ciascuna pala eolica (3, 3', 3'') è adatta a

compiere un giro completo attorno al proprio asse di pala (K).

8. Gruppo rotore (10) in accordo con una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il segmento
5 curvilineo sopravento (C_2) della traiettoria curvilinea chiusa (C) comprende un settore di bordeggio (C_{20}), che si estende angularmente attorno all'asse principale (Z) per un angolo morto (α) e che include almeno una posizione di risalita (T'), opposta alla posizione di
10 allontanamento (T), in cui in detta posizione di risalita (T') la direzione di vento reale (V_r) è tangente alla traiettoria curvilinea chiusa (C),
e in cui l'attuatore di pala ($4''$) è adatto a comandare la rispettiva pala eolica ($3''$), in modo tale che, quando
15 la pala eolica ($3''$) raggiunge una posizione compresa in tale settore di bordeggio (C_{20}), la pala eolica ($3''$) è in una configurazione sventata (D), nella quale oppone la minima resistenza al vento.

9. Gruppo rotore (10) in accordo con la rivendicazione
20 precedente, in cui, quando la pala eolica ($3''$) si trova nella configurazione sventata (D), né la prima (31), né la seconda superficie (32) sono esposte al vento, ossia la pala eolica ($3'$) è allineata con la direzione di vento reale (V_r).

25 10. Gruppo rotore (10) secondo una qualsiasi delle

precedenti rivendicazioni, in cui le pale eoliche (3, 3', 3'') sono vele, ossia sono almeno parzialmente realizzate in un materiale deformabile dall'azione del vento.

5 **11.** Gruppo rotore (10) secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, comprendente un mozzo centrale (21) fisso, attorno al quale ruota il rotore centrale (2), detto mozzo centrale (21) essendo adatto ad essere vincolato ad una base di fissaggio.

10 **12.** Metodo di attuazione di un gruppo rotore (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente le seguenti fasi:

b1) individuare la pala eolica (3') che sta raggiungendo la posizione di allontanamento (T);

15 c1) in funzione della fase b1), azionare il rispettivo attuatore di pala (4') della pala eolica (3') individuata;

d1) attuare la pala eolica (3') in modo che passi dalla configurazione mura a sinistra (A) alla configurazione
20 mura a dritta (B).

13. Metodo di attuazione in accordo con la precedente rivendicazione, comprendente, prima della fase b1), anche una fase a1) che prevede di rilevare la posizione angolare di ciascuna pala eolica (3, 3', 3'') rispetto
25 alla direzione di vento reale (V_r), ed una fase a2) che

prevede, su una unità elettronica di controllo, di elaborare la rilevazione effettuata ed inviare al rispettivo attuatore di pala (4, 4', 4'') un comando di azionamento in funzione di detta rilevazione.

5 **14.** Metodo di attuazione in accordo con la rivendicazione 12 o 13, che, durante l'esecuzione delle fasi da a1) a d1) comprende anche le seguenti fasi:

a) per mezzo di sensori, rilevare direzione, e preferibilmente intensità, del vento e rilevare una
10 posizione angolare del rotore centrale (2) in rotazione attorno all'asse centrale (Z);

b) su un processore elettronico (9), per ciascuna di dette pale eoliche (3, 3', 3'') calcolare la direzione di un rispettivo vento apparente (V_{app}) che agisce su
15 ciascuna pala eolica (3, 3', 3'') in funzione dei parametri rilevati nella fase a);

c) sul processore elettronico (9), calcolare una posizione angolare ottimale (γ_{opt}) per ciascuna di dette pale eoliche (3, 3', 3'') rispetto alla direzione
20 del rispettivo vento apparente (V_{app}), in funzione dei rispettivi parametri rilevati nella fase b), detta posizione angolare ottimale (γ_{opt}) essendo tale da massimizzare la spinta generata dal vento sulla rispettiva pala eolica (3, 3', 3'');

25 d) per mezzo di un sensore di posizione angolare (70),

rilevare una posizione angolare effettiva ($\gamma\text{-eff}$) di ciascuna pala rispetto alla direzione del rispettivo vento apparente (V_{app});

e) sull'unità elettronica di controllo (5), per ciascuna
5 di dette pale eoliche (3, 3', 3''), confrontare la posizione angolare ottimale ($\gamma\text{-opt}$) con la posizione angolare effettiva ($\gamma\text{-eff}$) rilevata, ed inviare un segnale di comando al rispettivo attuatore di pala (4, 4', 4'');

10 f) azionare le pale eoliche (3, 3', 3'') per portarle dalla rispettiva posizione angolare effettiva ($\gamma\text{-eff}$) nella rispettiva posizione angolare ottimale ($\gamma\text{-opt}$), in funzione del segnale di comando ricevuto.

15. Metodo di attuazione secondo la rivendicazione
15 precedente, in cui dopo la fase b), prevede di attuare, oltre alle fasi da c) a f), le seguenti fasi, nell'ordine:

- una fase x) che prevede inoltre di calcolare per ciascuna pala eolica (3, 3', 3'') una rispettiva spinta
20 velica (F_v), in funzione del rispettivo vento apparente (V_{app}) calcolato nella fase b);

- una fase y) che prevede di identificare la pala eolica (3'') che sta per raggiungere una posizione angolare per cui la spinta velica (F_v) sarebbe minore o
25 uguale a zero;

- una fase w) che prevede di azionare tale pala eolica (3'') per portarla in configurazione sventata (D), in modo tale che questa sia allineata con la direzione del vento, ossia in modo tale che né la prima (31), né la
5 seconda (32) superficie di tale pala eolica (3'') siano esposte al vento.

16. Metodo di attuazione secondo la rivendicazione 14 o 15, che, dopo la fase c), prevede di attuare, oltre alle fasi da d) a f), le seguenti fasi, nell'ordine:

10 - una fase j) che prevede di confrontare la posizione angolare ottimale (γ -opt) di ciascuna di dette pale eoliche (3, 3', 3'') con la direzione di vento apparente (V_{app});

- una fase h) che prevede di identificare la pala eolica
15 (3') per cui la posizione angolare ottimale (γ -opt) sarebbe perpendicolare rispetto alla direzione di vento apparente (V_{app});

- una fase i) che prevede di comandare il rispettivo attuatore di pala (4') per portare tale pala eolica (3')
20 in detta posizione angolare ottimale (γ -opt), sfasata di (180°).

17. Un generatore eolico comprendente un gruppo rotore (10) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 11, collegato operativamente con un generatore di
25 potenza elettrica, ad esempio un motore elettrico.

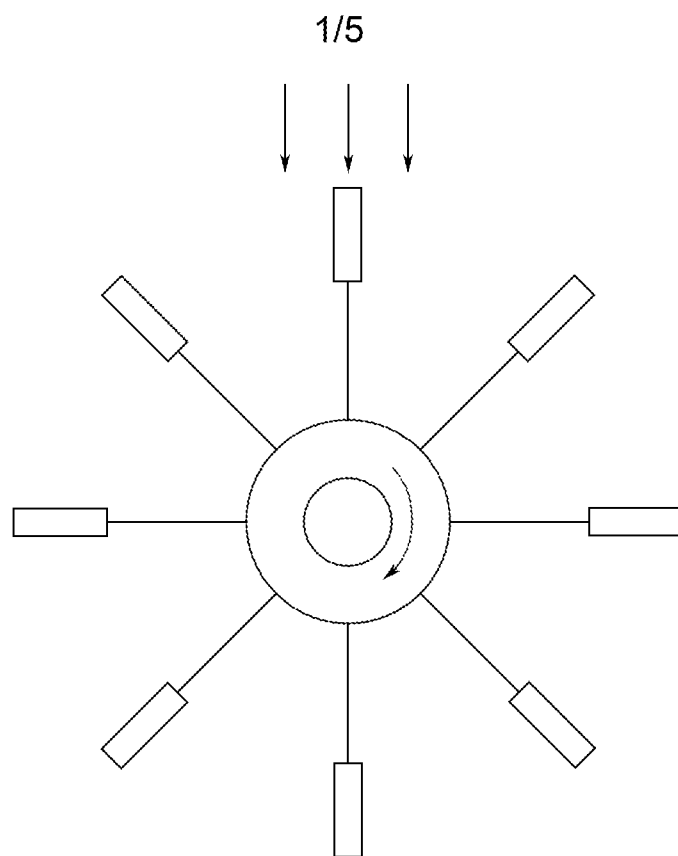


FIG.1 - Arte nota

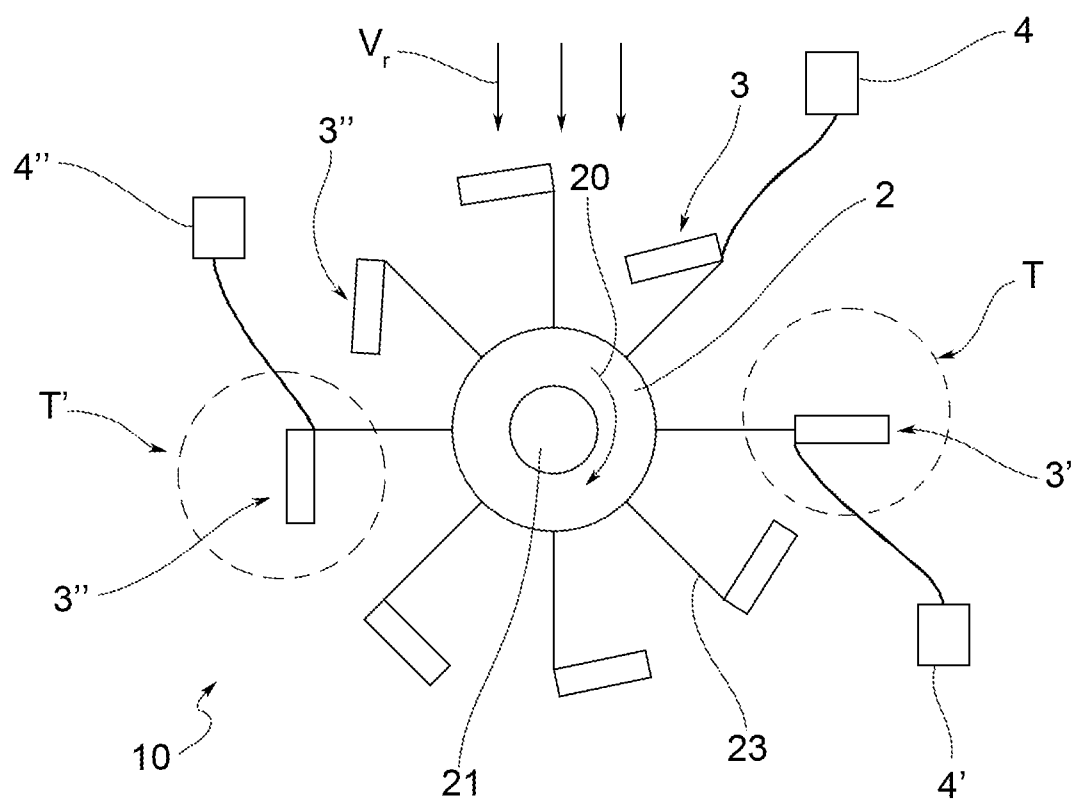


FIG.2

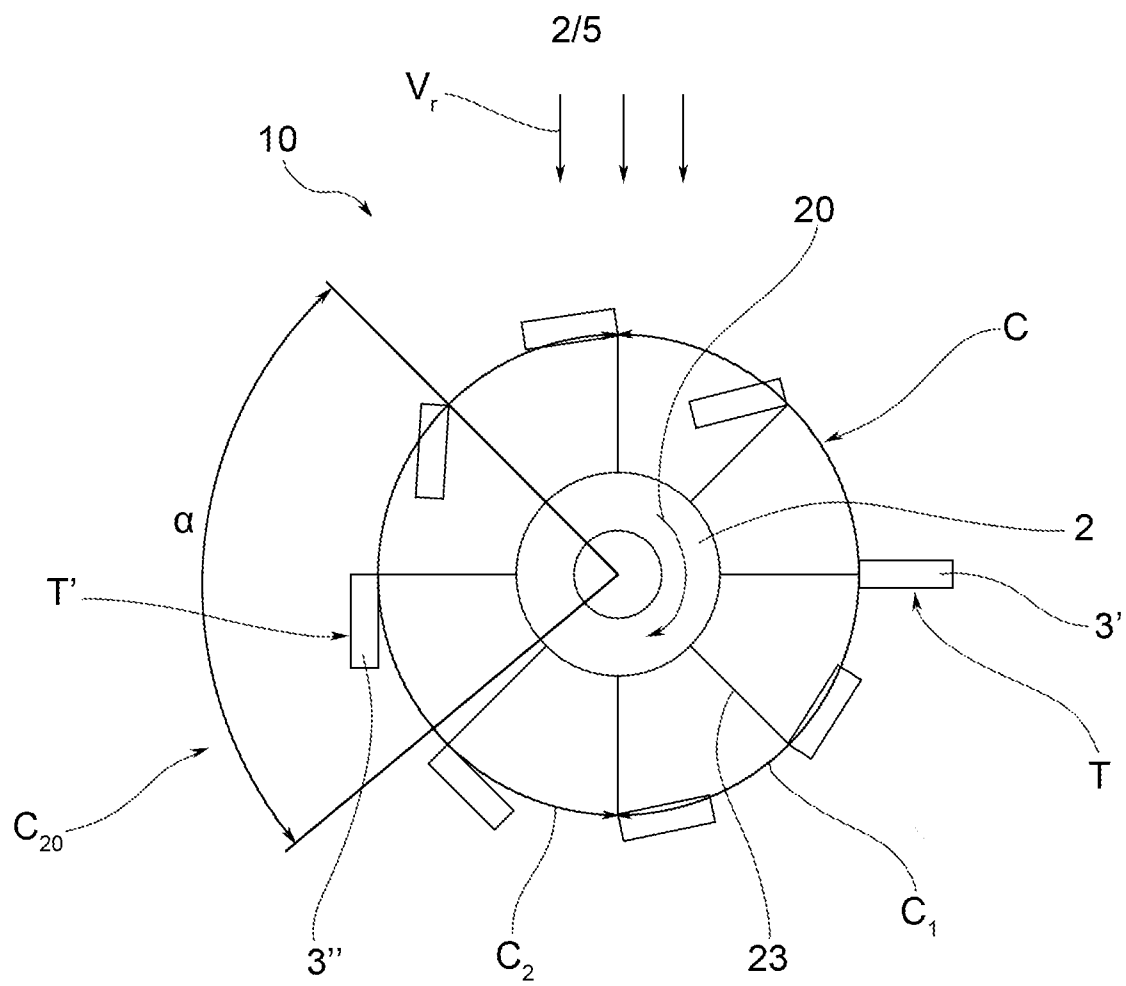


FIG. 3

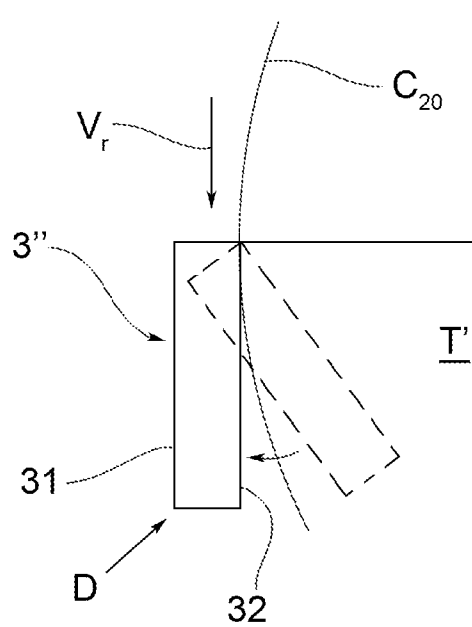


FIG. 4a

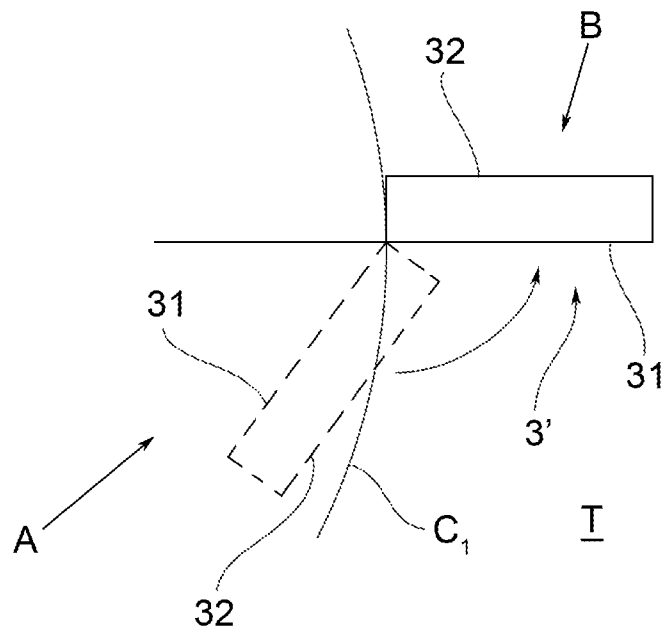


FIG. 4b

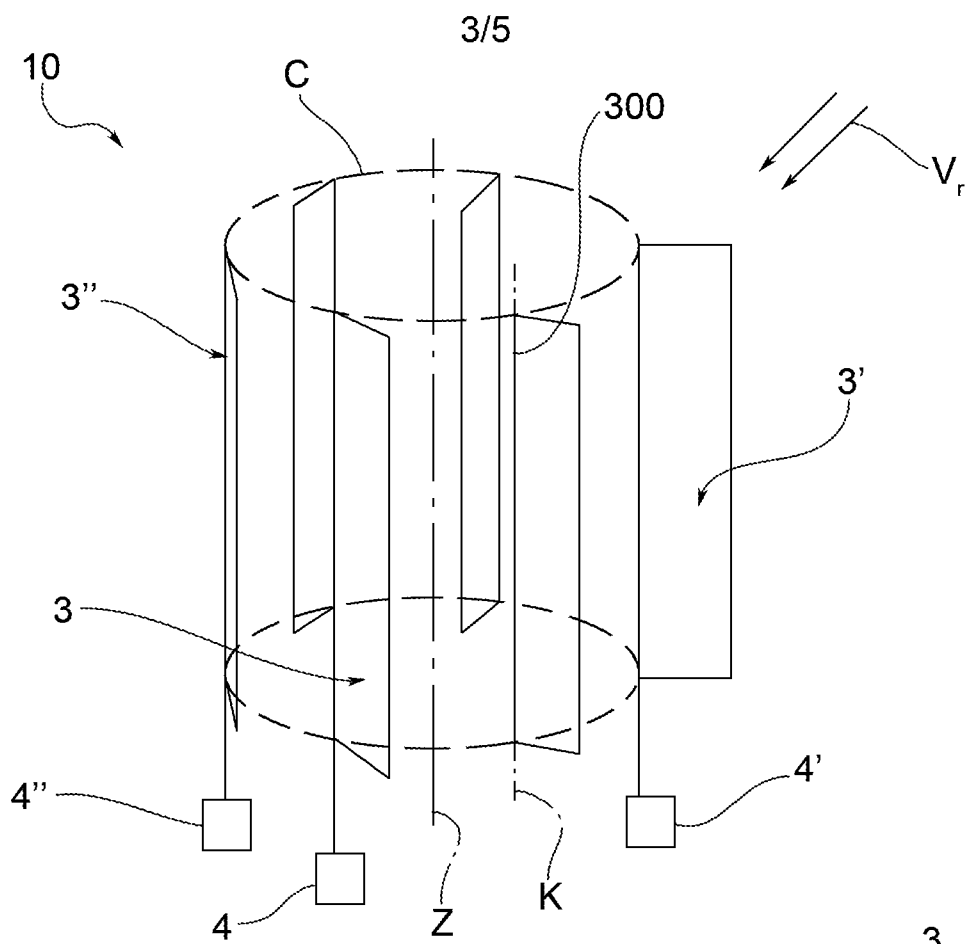


FIG.5

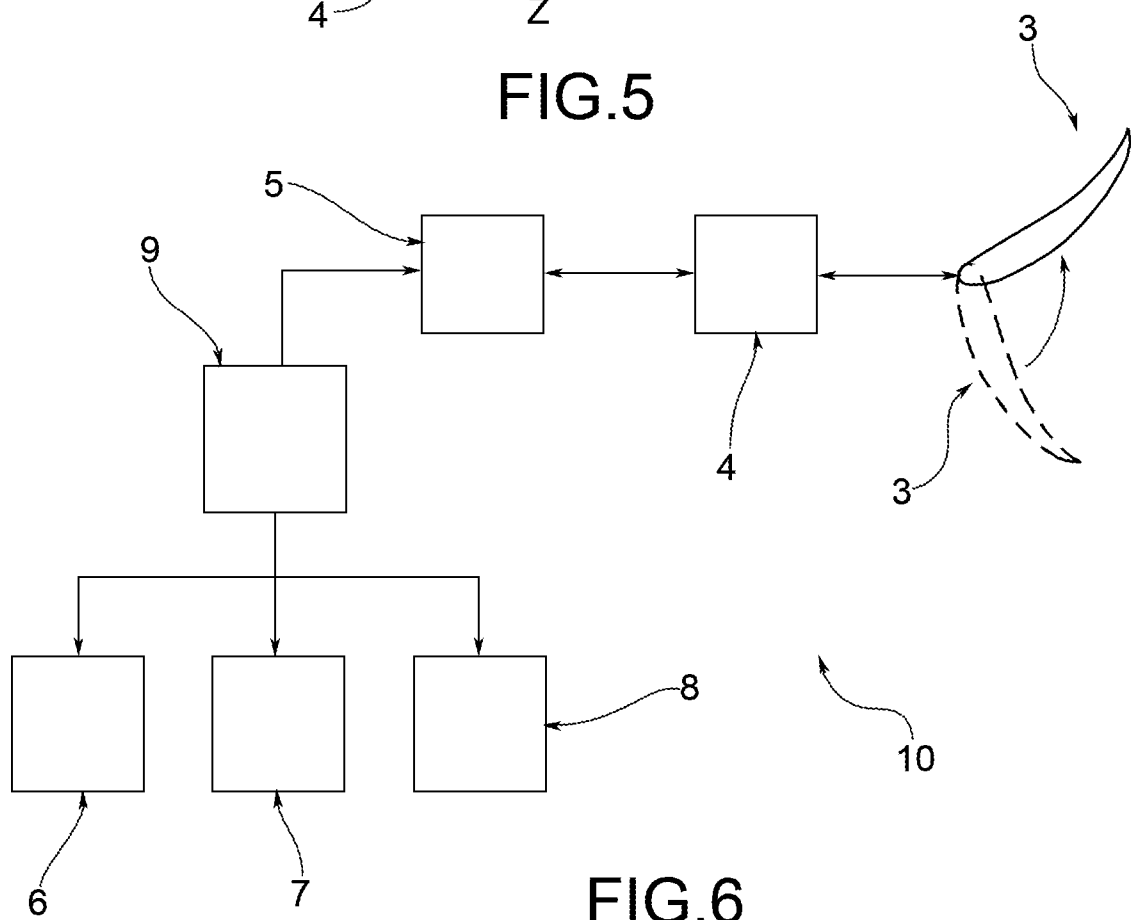


FIG.6

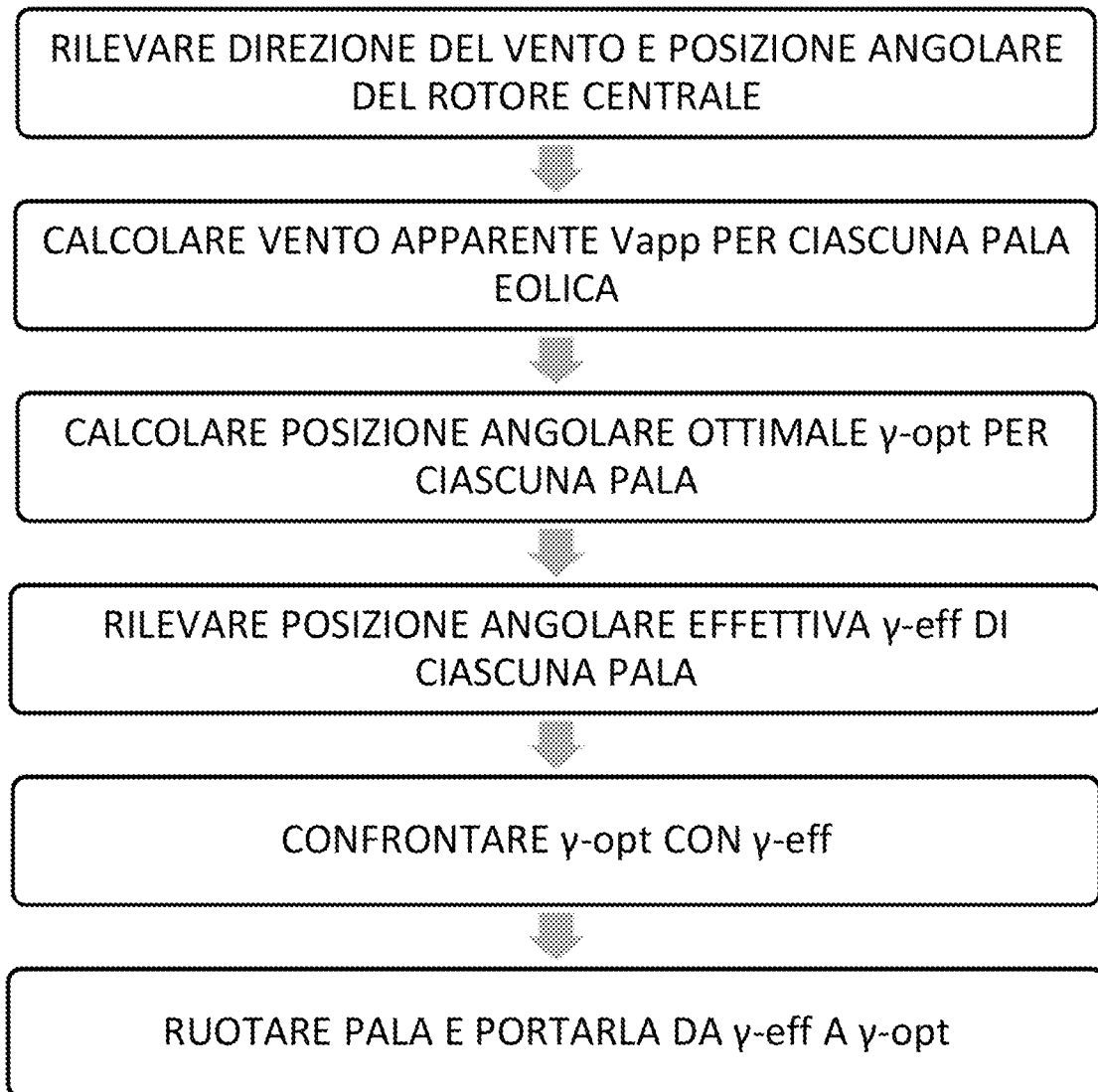


FIG.7

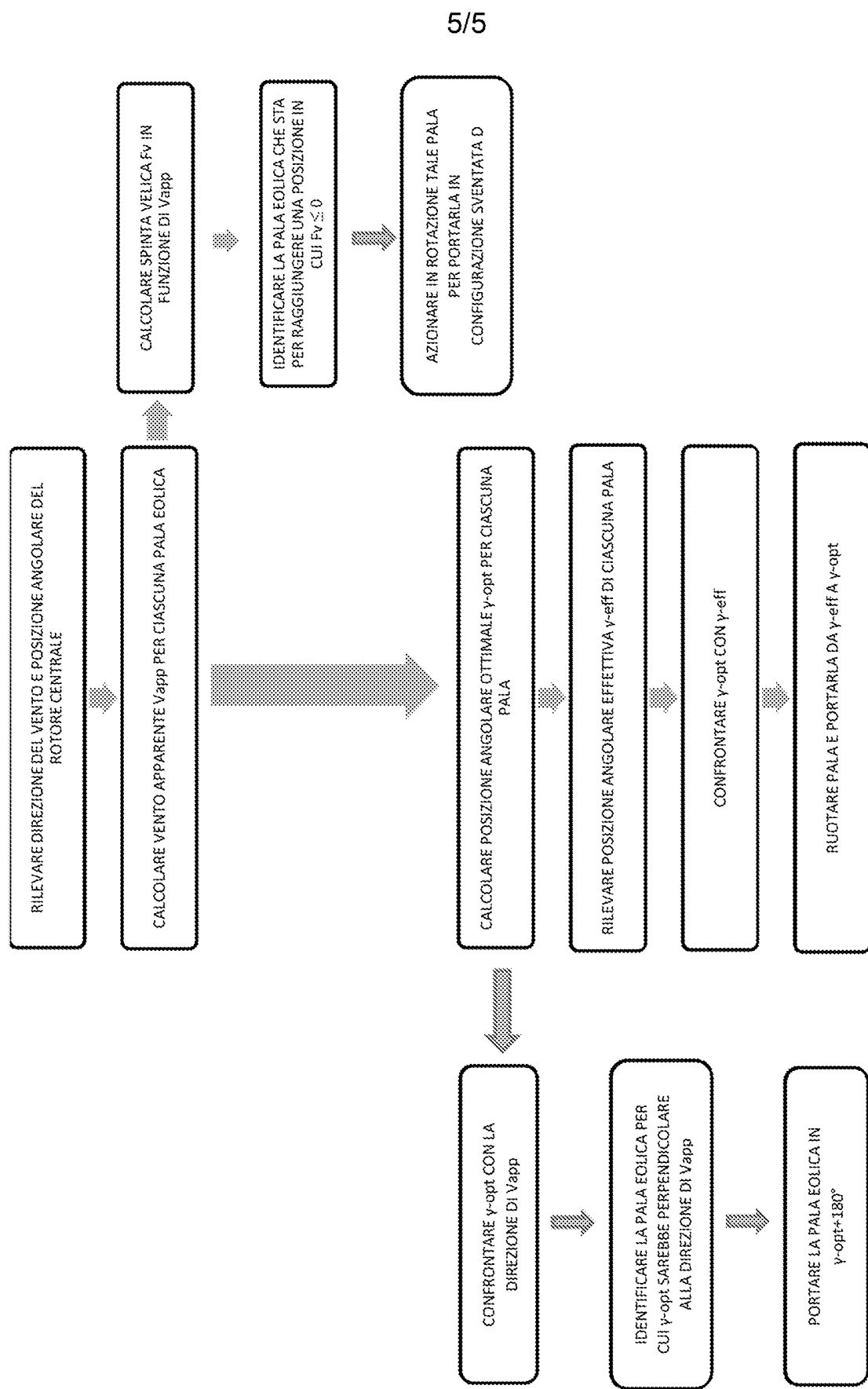


FIG.8