

# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902108190A1

Publication Date

20140606

Applicant

VORTEX ENERGY S.R.L.

Title

TURBINA EOLICA AD ASSE VERTICALE E PALA PER TURBINA EOLICA AD  
ASSE VERTICALE

# **TURBINA EOLICA AD ASSE VERTICALE E PALA PER TURBINA EOLICA AD ASSE VERTICALE**

## **DESCRIZIONE**

La presente invenzione concerne una turbina eolica ad asse verticale ed una pala per  
5 turbina eolica ad asse verticale secondo il preambolo delle rispettive rivendicazioni indipendenti.

La turbina ad asse verticale e la relativa pala eolica secondo la presente invenzione sono atte ad essere impiegate per trasformare, in modo di per sé tradizionale, l'energia cinetica del vento in energia meccanica e quindi in energia elettrica con un elevato  
10 rendimento aerodinamico.

La turbina eolica ad asse verticale e la relativa pala oggetto della presente invenzione si inseriscono pertanto nel settore tecnologico delle energie rinnovabili e, più in particolare, nel campo industriale della produzione di generatori eolici.

### Stato della tecnica

15 Come è noto, il fabbisogno di energia elettrica da fonti rinnovabili, tra le quali è compresa l'energia eolica, è accresciuto negli anni specialmente per l'aumento dei costi dei combustibili fossili nonché per esigenze ambientali che spingono ad evitare immissioni di sostanze inquinanti.

Tale circostanza ha determinato un importante impulso allo sviluppo delle turbine  
20 eoliche con scopo di produzione di energia elettrica, le quali sono attualmente presenti sul mercato nelle due differenti tipologie ad asse orizzontale e ad asse verticale.

In particolare, le turbine di grande taglia operanti nei più recenti impianti eolici sono generalmente del tipo ad asse orizzontale e, più frequentemente, con rotore a tre pale.

Al fine di ridurre o evitare la formazione di flussi vorticosi di aria in corrispondenza  
25 delle estremità libere delle pale, dovuti alla differenza di pressione tra l'estradosso e

l'intradosso del profilo palare, i quali flussi vorticosi di aria riducono il coefficiente di potenza rotorico di una turbina, sono state messe a punto negli ultimi anni turbine ad asse orizzontale provviste di pale dotate di appendici terminali, denominate nel gergo del settore con il termine winglet.

- 5    Turbine ad asse orizzontale comprendenti pale provviste di appendici terminali sono ad esempio descritte nei brevetti US 2009/257885, US 7,997,875 e US 8,029,241.

Le pale delle turbine sopra citate sono formate da un corpo principale collegato all'albero della turbina e da una appendice collegata all'estremità libera del corpo principale mediante una porzione di raccordo. Più in dettaglio, le porzioni di raccordo

- 10    previste nelle pale di tipo noto si estendono tra la sezione di estremità del corpo principale e la sezione di radice da cui si diparte l'appendice, le quali sezione di estremità e sezione di radice sono disposte sostanzialmente a  $90^\circ$  l'una rispetto all'altra.

Tali appendici, già da tempo impiegate allo stesso scopo in ambito aeronautico, oltre a migliorare le prestazioni delle turbine eoliche, consentono di ridurre le emissioni

- 15    acustiche delle stesse.

Recentemente si è assistito inoltre ad un rinnovato interesse per le turbine eoliche ad asse verticale, le quali trovano una più agevole applicazione nelle installazioni di piccole dimensioni, con l'obiettivo di decentralizzare la produzione di energia elettrica dai grandi impianti verso l'interno delle città e verso le comunità rurali.

- 20    Le turbine ad asse verticale, infatti, presentano alcuni vantaggi rispetto alle turbine ad asse orizzontale, il più significativo dei quali è costituito dall'indipendenza del funzionamento dalla direzione di provenienza del vento, cosa che ne favorisce l'utilizzo in zone fortemente antropizzate, in genere caratterizzate da venti incostanti in direzione.

Tra le turbine eoliche ad asse verticale è nota nel mercato la tipologia "a portanza", la

- 25    cui forma realizzativa più conosciuta è costituita dalla turbina Darrieus dal nome

dell'inventore G. J. M. Darrieus che, nel 1931, ne depositò la domanda di brevetto negli Stati Uniti con il n. US 1,835,018. Tale turbina, come descritta nel suddetto brevetto, comprende un albero di rotazione verticale ed una pluralità di pale, sostanzialmente rigide, meccanicamente accoppiate alle loro estremità superiore ed inferiore all'albero per portarlo in rotazione e generare energia elettrica in modo tradizionale mediante un generatore di corrente accoppiato all'albero di rotazione. Ciascuna pala ha la forma di un corpo allungato che si sviluppa sostanzialmente con arco a semicerchio tra le sue due estremità ed ha sezione configurata a profilo alare, costante per tutta la sua estensione longitudinale. Tale profilo alare è definito, in modo di per sé noto, da una superficie dorsale e da una superficie ventrale che si estendono dal bordo di attacco al bordo di uscita del flusso d'aria. Le differenti pressioni prodotte dal flusso d'aria sulle superfici del profilo alare determinano forze fluidodinamiche agenti sul profilo stesso scomponibili in una componente di portanza, responsabile della rotazione della turbina ed in una componente di resistenza.

Le turbine note, del tipo sopra descritto, presentano alcuni inconvenienti, tra cui un rendimento non particolarmente elevato, la formazione di vortici d'aria che oltre, come detto, a non consentire il raggiungimento di un elevato rendimento provocano un fastidioso rumore, nonché la generazione di coppie torsionali indesiderate lungo lo sviluppo delle pale a causa del repentino e ripetitivo passaggio delle pale stesse tra posizione angolari di lavoro, in cui queste ultime interferiscono con il flusso del vento generando una componente di portanza responsabile della rotazione della pala, e posizioni di riposo, in cui le pale sono attraversate dal flusso d'aria senza tuttavia che si generino significative forze fluidodinamiche sulle stesse pale.

Al fine di migliorare particolarmente la distribuzione degli sforzi lungo lo sviluppo delle pale al variare della posizione angolare assunta da queste ultime e ridurre la

formazione delle suddette coppie torsionali indesiderate sulle pale, sono state sviluppate turbine del tipo “Darrieus” sopra citato, ad esempio descritte nei brevetti US 5,405,246, US 2010/322770 ed US 2011/280708, in cui le pale sono fissate alle loro estremità all’albero di rotazione in corrispondenza di posizioni angolarmente sfalsate, in modo da realizzare uno sviluppo longitudinale sostanzialmente ad elica. In questo modo le pale sono sempre soggette in almeno un loro tratto longitudinale, ed in qualunque posizione angolare assunta dalla pala, ad una azione utile da parte delle forze fluidodinamiche prodotte dal vento.

Tale geometria palare consente inoltre una diminuzione della rumorosità causata dal rotore, dal momento che sia l’interazione tra la pala ed il vento che quella tra la pala e la scia dell’albero del rotore risultano progressive, evitando fastidiosi effetti acustici causati da repentine variazioni di pressione nel campo di moto attorno alle pale.

Le suddette turbine non hanno tuttavia consentito di migliorare particolarmente il rendimento di trasformazione dell’energia del vento in energia meccanica di rotazione della turbina.

#### Presentazione dell’invenzione

In questa situazione, il problema alla base della presente invenzione è pertanto quello di ovviare agli inconvenienti manifestati dalle soluzioni di tipo noto sopra descritte mettendo a disposizione una turbina eolica ad asse verticale ed una pala per turbina eolica ad asse verticale, le quali consentano di migliorare il rendimento aerodinamico della stessa pala, permettendo così la generazione di un maggior quantitativo di energia meccanica e quindi elettrica.

Un altro scopo del presente trovato è quello di mettere a disposizione una turbina eolica ad asse verticale ed una pala per turbina eolica ad asse verticale, le quali producano emissioni acustiche contenute rispetto alle turbine note.

Un altro scopo del presente trovato è quello di mettere a disposizione una turbina eolica ad asse verticale ed una pala per turbina eolica ad asse verticale, le quali siano di facile auto-avviamento.

Un altro scopo del presente trovato è quello di mettere a disposizione una turbina eolica ad asse verticale, la quale sia del tutto sicura da utilizzare.

Un altro scopo del presente trovato è quello di mettere a disposizione una turbina eolica ad asse verticale, la quale sia semplice ed economica da realizzare ed operativamente del tutto affidabile.

#### Breve descrizione dei disegni

10 Questi scopi ed altri ancora, vengono tutti raggiunti dalla turbina e dalla pala oggetto della presente invenzione, le cui caratteristiche tecniche sono chiaramente riscontrabili dal contenuto delle rivendicazioni sottoriportate ed i vantaggi delle stesse risulteranno maggiormente evidenti nella descrizione dettagliata che segue, fatta con riferimento ai disegni allegati, che ne rappresentano una forma di realizzazione puramente  
15 esemplificativa e non limitativa, in cui:

- la Figura 1 mostra una vista schematica di un esempio di realizzazione della turbina eolica ad asse verticale oggetto della presente invenzione, dotata di tre pale anch'esse formanti oggetto della presente invenzione;
- la Figura 2 mostra una vista prospettica di un primo particolare di una pala della  
20 turbina eolica di Fig. 1, relativo ad una parte di un suo previsto corpo centrale;
- la Figura 3 mostra una vista prospettica di un secondo particolare di una pala della turbina eolica di Fig. 1, relativo ad una prevista appendice;
- le Figure 4 e 5 mostrano rispettivamente una vista prospettica di una estremità superiore del corpo centrale della pala di Fig. 2 ed una vista prospettica di una  
25 porzione terminale superiore di una pala della turbina eolica di Fig. 1, con

l'appendice di Fig. 3 collegata all'estremità superiore del corpo centrale della pala di Fig. 2 mediante una porzione di raccordo;

- la Figura 6 mostra una vista frontale della porzione terminale superiore della pala di Fig. 5;

5        - la Figura 7 mostra un grafico rappresentativo del confronto fra i coefficienti di potenza per unità di altezza palare in funzione dell'altezza del generico profilo alare dalla base della pala di una turbina provvista di pale prive di appendici (in linea segnata con punti tondi) e di una turbina di pari area spazzata avente pale provviste di appendici in accordo con la presente invenzione (in linea segnata  
10        con punti quadrati).

#### Descrizione dettagliata di un esempio di realizzazione preferita

Con riferimento agli uniti disegni è stata indicata nel suo complesso con 1 una forma realizzativa preferenziale di turbina eolica ad asse verticale, in accordo con la presente invenzione.

15    Tale turbina 1 è di tipo "a portanza" e comprende un rotore formato da un albero centrale di rotazione 2 con asse Z verticale e da due o più pale 3 atte a trasmettere un moto di rotazione all'albero centrale di rotazione 2, attorno al suddetto asse verticale Z.

La turbina 1 potrà comprendere, nel caso sia atta alla produzione di energia elettrica, in modo del tutto tradizionale, mezzi di conversione dell'energia meccanica dell'albero 2  
20    in energia elettrica, quali un generatore eventualmente meccanicamente collegato all'albero mediante un riduttore (non illustrati), i quali sono di per sé noti al tecnico del settore e non sono quindi qui ripresi in dettaglio.

In accordo con la forma di realizzazione illustrata nella Figura 1 allegata, la turbina comprende tre pale 3.

Ciascuna pala 3 presenta uno sviluppo longitudinale sostanzialmente elicoidale lungo una linea di sviluppo longitudinale 1 ed è provvista di una porzione terminale superiore 3' e di una porzione terminale inferiore 3'', in corrispondenza delle quali la pala 3 è meccanicamente accoppiata all'albero centrale di rotazione 2 della turbina 1, mediante  
5 almeno una coppia di razze, 4' e 4''. Queste ultime sono collegate all'albero di rotazione 2 in posizioni tra loro sfalsate angolarmente.

In accordo con l'idea alla base della presente invenzione, ciascuna delle pale 3 comprende un corpo centrale 5 e due appendici 6 terminali, collegate al corpo centrale 5 come meglio specificato nel seguito.

10 Il corpo centrale 5 si sviluppa lungo la linea di sviluppo longitudinale 1 ed è provvisto di una sezione definente un profilo aerodinamico P, ovvero un profilo che è suscettibile di produrre una componente di portanza volta a condurre in rotazione l'albero centrale 2 a cui è fissata la pala 3, quando è immersa in un flusso di aria.

Il principio che porta in rotazione la turbina 1 per effetto delle forze fluidodinamiche  
15 agenti sul profilo aerodinamico P della pala 3 è ben noto al tecnico del settore e per tale ragione non è ripreso qui in dettaglio.

Le caratteristiche fluidodinamiche della pala 3 sono influenzate, come è noto dalla forma del suo profilo aerodinamico. In accordo con la presente invenzione, il profilo aerodinamico P del corpo centrale 5 di ciascuna pala 3 è ortogonale alla linea di  
20 sviluppo longitudinale 1 del corpo centrale 5 stesso, per tutta la lunghezza di quest'ultima, come ben visibile nella Fig. 2. Più in dettaglio, il profilo aerodinamico P è definito da una pluralità di sezioni ortogonali alla linea di sviluppo longitudinale 1. In particolare, tali sezioni ortogonali  $S_0$  presentano la forma aerodinamica desiderata e sono sostanzialmente costanti lungo la linea di sviluppo longitudinale 1.

25 La tecnica nota prevede diversamente che il profilo aerodinamico P si sviluppi

orizzontalmente, ovvero sia definito da una pluralità di sezioni aerodinamiche disposte ortogonalmente all'asse verticale Z dell'albero di rotazione 2, a prescindere dall'angolo di inclinazione della linea di sviluppo longitudinale 1.

Il fatto che le pale 3 siano provviste, in corrispondenza del loro corpo centrale 5, di un profilo aerodinamico P che si sviluppa ortogonalmente rispetto alla linea di sviluppo longitudinale 1 per tutta la lunghezza della linea di sviluppo elicoidale 1 stessa, e non su piani orizzontali come invece previsto dall'arte nota, consente di sfruttare in modo ottimale il profilo aerodinamico e di migliorare quindi il rendimento della turbina stessa.

E' stato infatti sperimentalmente provato che le linee di flusso F dell'aria che intercettano una pala 3, vengono deviate da quest'ultima secondo una direzione sostanzialmente ortogonale alla linea di sviluppo longitudinale 1 della pala 3, come rappresentato schematicamente nella Figura 2, ovvero secondo una direzione che coincide con lo sviluppo del profilo aerodinamico P del corpo centrale 5 della pala 3.

Il profilo aerodinamico P del corpo centrale 5 delle pale 3 potrà essere ad esempio un profilo di tipo NACA.

Il corpo centrale 5 di ciascuna pala 3 si estende tra una estremità superiore 5', definita da una sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  ortogonale alla linea di sviluppo longitudinale 1, come ben visibile nella Figura 4, ed inclinata rispetto all'asse Z verticale, ed una estremità inferiore 5'', definita da una sezione aerodinamica di estremità inferiore (non illustrato), anch'essa ortogonale alla linea di sviluppo longitudinale 1 ed inclinata rispetto all'asse Z verticale.

Le due appendici 6 sono collegate alle estremità superiore 5' ed inferiore 5'' del corpo centrale 5 e si estendono ciascuna lungo una direzione radiale R sostanzialmente ortogonale all'asse verticale Z della turbina 1, verso l'albero centrale di rotazione 2.

Le appendici 6 sviluppandosi sostanzialmente ortogonalmente all'asse verticale Z di

rotazione della turbina 1 interferiscono minimamente con i flussi di aria che lambiscono le pale 3 e quindi non influiscono negativamente sul rendimento della turbina 1. Diversamente, qualora fossero disposte inclinate rispetto alla direzione radiale R e non fossero sostanzialmente ortogonali all'asse verticale Z, le appendici 6 fungerebbero da  
5 freno aerodinamico, riducendo il rendimento della turbina 1.

Con l'espressione "sostanzialmente ortogonalmente" sopra impiegata, si intende qui indicare che le appendici 6 si sviluppano parallelamente ad una direzione radiale R che forma un angolo compreso tra  $85^\circ$  e  $95^\circ$  con l'asse verticale Z della turbina 1.

Ciascuna appendice 6 si estende tra una estremità di radice 7, definita da una sezione di  
10 radice 7', giacente su un piano sostanzialmente verticale ed ortogonale alla direzione radiale R, ed una estremità libera 8 definita da una sezione di estremità 8'.

Le appendici 6 sono collegate alle estremità superiore 5' ed inferiore 5'' del corpo centrale 5 mediante rispettive porzioni di raccordo 9, ciascuna delle quali si estende tra la sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o inferiore del corpo centrale 5 e la  
15 sezione di radice 7' della corrispondente appendice 6.

Le porzioni di raccordo 9, pertanto, raccordano la sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o inferiore, la quale è disposta ortogonalmente alla linea di sviluppo longitudinale l della pala 3 e quindi inclinata rispetto all'asse verticale Z della turbina, con la sezione di radice 7' della corrispondente appendice 6, la quale sezione di radice  
20 7' si sviluppa su un piano verticale, ortogonale alla direzione radiale R e parallelo all'asse Z.

Vantaggiosamente, ciascuna delle porzioni di raccordo 9 è definita da una pluralità di sezioni di raccordo  $S_r$  che si susseguono a partire dalla sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o inferiore del corpo centrale 5 fino alla sezione di radice 7' della  
25 corrispondente appendice 6.

Ciascuna di tali sezioni di raccordo  $S_r$  ha una propria corda  $c_r$  ed è ruotata rispetto alla sezione di raccordo che la precede attorno ad almeno un primo asse di rotazione  $R'$  sostanzialmente parallelo alla direzione radiale  $R$  e/o attorno alla propria corda  $c_r$ , cosicché le sezioni di raccordo  $S_r$  che si susseguono a partire dalla sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o inferiore si dispongono in posizioni che approssimano gradualmente una posizione parallela al piano di giacitura sostanzialmente verticale della sezione di radice 7' dell'appendice 6.

La presenza delle appendici 6 consente di ridurre la resistenza indotta dalle pale 3. Le appendici 6, infatti, sebbene determinino un incremento della superficie complessiva della pala 3 e quindi un incremento della resistenza viscosa della pala 3, permettono di ridurre i vortici di estremità generati dai flussi di aria che si muovono dalla regione in sovrappressione in corrispondenza dell'intradosso palare verso la regione in depressione in corrispondenza dell'estradosso palare. La presenza infatti di una barriera fisica costituita dall'appendice 6 tra le zone di sovrappressione e le zone di depressione consente di ostacolare il flusso di aria che tenderebbe a fluire dall'intradosso verso l'estradosso e che genererebbe una serie di vortici che si distaccano dal bordo di uscita della pala 3.

Al fine di sfruttare al meglio le proprietà delle appendici 6, è necessario bilanciare i benefici legati alla diminuzione di resistenza indotta, e quindi all'incremento di portanza che ne consegue, con l'incremento di resistenza viscosa dovuto all'aumento della superficie bagnata della pala.

Allo scopo, le dimensioni delle sezioni di radice 7' e di estremità 8' dell'appendice 6, nonché la lunghezza  $l_w$  e gli spessori massimi  $s_{w,r}$  e  $s_{w,e}$  delle sezioni di radice e di estremità dell'appendice devono essere selezionati in modo da garantire il minimo incremento di resistenza viscosa a fronte della desiderata diminuzione di resistenza

indotta.

In accordo con una forma di realizzazione preferenziale, illustrata nelle allegate figure, la sezione di radice 7' di ciascuna delle appendici 6 è contraddistinta da una corda di lunghezza  $c_{w,r}$  inferiore rispetto alla lunghezza  $c_p$  della corda della sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o della sezione di estremità inferiore e le sezioni di raccordo  $S_r$  presentano una corda  $c_r$  di lunghezza via via decrescente in allontanamento dalla sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o inferiore.

Vantaggiosamente, la lunghezza  $c_{w,r}$  della corda della sezione di radice 7' di ciascuna delle appendici 6 è pari al 50%-70%, e preferibilmente pari a circa il 60%, della lunghezza  $c_p$  della corda della sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o della sezione di estremità inferiore.

La lunghezza  $l_w$  di ciascuna delle appendici 6, definita come la distanza tra la sezione di radice 7' e la sezione di estremità 8', è, in accordo con una forma di realizzazione vantaggiosa della presente invenzione, pari al 75%-150% della lunghezza  $c_p$  della corda della sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o inferiore.

In particolare, la lunghezza  $l_w$  di ciascuna delle appendici 6 è preferibilmente sostanzialmente pari alla lunghezza  $c_p$  della corda della sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  o inferiore.

La sezione di radice 7' di ciascuna delle appendici 6 è contraddistinta, oltre che da una lunghezza  $c_{w,r}$  della corda, anche da uno spessore massimo  $s_{w,r}$ . Analogamente, la sezione di estremità 8' di ciascuna delle appendici 6 è contraddistinta da una lunghezza  $c_{w,e}$  della corda e da uno spessore massimo  $s_{w,e}$ .

Vantaggiosamente, la corda della sezione di estremità 8' ha una lunghezza  $c_{w,e}$  pari al 40%-60%, e preferibilmente pari a circa il 50%, della lunghezza  $c_{w,r}$  della corda della sezione di radice 7'.

Inoltre, lo spessore massimo  $s_{w,e}$  della sezione di estremità 8' è vantaggiosamente pari al 40%-60%, e preferibilmente pari a circa il 50%, dello spessore massimo  $s_{w,r}$  della sezione di radice 7'.

I rapporti dimensionali sopra indicati, si sono dimostrati particolarmente vantaggiosi per garantire una diminuzione di resistenza indotta, e quindi un incremento di portanza, a fronte di un modesto incremento di resistenza viscosa dovuto all'aumento della superficie bagnata della pala.

La configurazione delle pale 3 in accordo con i suddetti rapporti dimensionali garantisce quindi un rendimento ottimale della turbina 1 in accordo con la presente invenzione.

10 Forma oggetto della presente invenzione anche una pala 3 per una turbina eolica 1 ad asse verticale del tipo sopra descritto.

In particolare, come già precedentemente specificato, la pala 3 secondo la presente invenzione è provvista di uno sviluppo longitudinale sostanzialmente elicoidale attorno ad un asse Z, che coincide con l'asse verticale della turbina 1 quando la pala 3 è  
15 montata sull'albero 2 della turbina 1, lungo una linea di sviluppo longitudinale l.

La pala 3 secondo l'invenzione comprende un corpo centrale 5 che si sviluppa lungo la linea di sviluppo longitudinale l con un profilo aerodinamico P ortogonale alla linea di sviluppo longitudinale l e si estende tra una estremità superiore 5', definita da una sezione aerodinamica di estremità superiore  $S_s$  ortogonale alla linea di sviluppo  
20 longitudinale l ed inclinata rispetto all'asse Z, ed una estremità inferiore 5'', definita da una sezione aerodinamica di estremità inferiore, anch'essa ortogonale alla linea di sviluppo longitudinale l ed inclinata rispetto all'asse verticale Z.

La pala 3 comprende inoltre due appendici 6 collegate alle estremità superiore 5' ed inferiore 5'' del corpo centrale 5, ciascuna delle quali si estende lungo una direzione  
25 radiale R sostanzialmente ortogonale all'asse Z verso l'asse Z stesso, tra una estremità

di radice 7 definita da una sezione di radice 7', giacente su un piano sostanzialmente verticale ed ortogonale alla direzione radiale R, ed una estremità libera 8 definita da una sezione di estremità 8'.

Le appendici 6 sono collegate alle estremità superiore 5' ed inferiore 5'' del corpo centrale 5 mediante rispettive porzioni di raccordo 9, ciascuna delle quali si estende tra la sezione aerodinamica di estremità superiore S<sub>s</sub> o inferiore del corpo centrale 5 e la sezione di radice 7' della corrispondente appendice 6.

La presenza delle appendici 6 sulle pale 3 in accordo con la presente invenzione, consente pertanto, come precedentemente specificato di aumentare il rendimento della turbina 1 che porta montate le suddette pale, nonché di contenere le emissioni acustiche, grazie al peculiare orientamento del profilo aerodinamico P del corpo centrale 5 delle pale 3 ed alle peculiari caratteristiche costruttive delle appendici 6.

A mero titolo di esempio, nella Figura 7 è riportato il confronto tra il coefficiente di potenza per unità di altezza palare, definito dalla formula:

$$c_p = P / (\frac{1}{2} \rho A V^3)$$

dove:

P è la potenza prodotta dalla turbina eolica per unità di altezza;

$\rho$  è la densità dell'aria;

A è l'area per unità di altezza della turbina eolica; e

V è la velocità del vento che investe la turbina eolica, generato da un rotore tripalare senza appendici aerodinamiche (rappresentato nel grafico di Figura 7 con una linea segnata con punti tondi) e quello generato dalla stessa macchina ove siano state applicate appendici aerodinamiche in accordo con la presente invenzione, come sopra descritte, essendo H l'altezza complessiva del rotore e h la coordinata verticale, nulla in corrispondenza dell'estremità inferiore del rotore e diretta

verso l'alto.

Dal grafico riportato in Figura 7 si evince chiaramente che la presenza delle appendici aerodinamiche d'estremità riduce la perdita di potenza che affligge le sezioni palari estreme.

- 5 Il trovato così concepito raggiunge pertanto gli scopi prefissi. Ovviamente esso potrà assumere, nella sua realizzazione pratica, anche forme e configurazioni diverse da quella sopra illustrata senza che, per questo, si esca dal presente ambito di protezione.

Inoltre tutti i particolari potranno essere sostituiti da elementi tecnicamente equivalenti e le forme, le dimensioni ed i materiali impiegati potranno essere qualsiasi a seconda

- 10 delle esigenze.

## RIVENDICAZIONI

1. Turbina eolica ad asse verticale, la quale comprende:

- un albero centrale di rotazione (2) avente un asse (Z) verticale;
- due o più pale (3) tra loro sfalsate angolarmente, ciascuna delle quali si estende lungo una linea di sviluppo longitudinale (l) sostanzialmente elicoidale ed è atta a trasmettere un moto di rotazione a detto albero centrale di rotazione (2) attorno al suddetto asse (Z) verticale;

caratterizzata dal fatto che ciascuna di dette pale (3) comprende:

- un corpo centrale (5) che si sviluppa lungo detta linea di sviluppo longitudinale (l) con un profilo aerodinamico (P) ortogonale a detta linea di sviluppo longitudinale (l), detto corpo centrale (5) estendendosi tra una estremità superiore (5'), definita da una sezione aerodinamica di estremità superiore (S<sub>s</sub>) ortogonale a detta linea di sviluppo longitudinale (l) ed inclinata rispetto a detto asse (Z) verticale, ed una estremità inferiore (5''), definita da una sezione aerodinamica di estremità inferiore ortogonale a detta linea di sviluppo longitudinale (l) ed inclinata rispetto a detto asse (Z) verticale, e
- due appendici (6) collegate rispettivamente alle estremità superiore (5') ed inferiore (5'') di detto corpo centrale (5) e sviluppantesi ciascuna lungo una direzione radiale (R) sostanzialmente ortogonale a detto asse (Z) verticale verso detto albero centrale di rotazione (2) a partire da una estremità di radice (7) definita da una sezione di radice (7'), giacente su un piano sostanzialmente verticale ed ortogonale a detta direzione radiale (R);

dette appendici (6) essendo collegate a dette estremità superiore (5') ed inferiore (5'') di detto corpo centrale (5) mediante rispettive porzioni di raccordo (9), ciascuna di dette porzioni di raccordo (9) estendendosi tra detta sezione aerodinamica di estremità

superiore ( $S_s$ ) o inferiore di detto corpo centrale (5) e detta sezione di radice (7) della corrispondente appendice (6).

2. Turbina eolica ad asse verticale secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che ciascuna di dette porzioni di raccordo (9) è definita da una pluralità di sezioni di raccordo ( $S_r$ ) che si susseguono a partire da detta sezione aerodinamica di estremità superiore ( $S_s$ ) o inferiore di detto corpo centrale (5) verso detta sezione di radice (7') della corrispondente appendice (6), ciascuna delle quali ha una propria corda ( $c_r$ ) ed è ruotato rispetto alla sezione di raccordo ( $S_r$ ) che lo precede attorno ad almeno un primo asse di rotazione ( $R'$ ) sostanzialmente parallelo a detta direzione radiale ( $R$ ) e/o attorno alla propria corda ( $c_r$ ), cosicché dette sezioni di raccordo ( $S_r$ ) si dispongono in posizioni che approssimano gradualmente una posizione parallela al piano di giacitura sostanzialmente verticale di detta sezione di radice (7') dell'appendice (6).

3. Turbina eolica ad asse verticale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detta sezione di radice (7') di ciascuna di dette appendici (6) è contraddistinta da una corda di lunghezza ( $c_{w,r}$ ) inferiore rispetto alla lunghezza ( $c_p$ ) della corda di detta sezione aerodinamica di estremità superiore ( $S_s$ ) o di detta sezione di estremità inferiore e dette sezioni di raccordo ( $S_r$ ) presentano una corda ( $c_r$ ) di lunghezza via via decrescente in allontanamento da detta sezione aerodinamica di estremità superiore ( $S_s$ ) o inferiore.

4. Turbina eolica ad asse verticale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detta sezione di radice (7') di ciascuna di dette appendici (6) è contraddistinta da una corda di lunghezza ( $c_{w,r}$ ) pari al 50%-70%, e preferibilmente pari a circa il 60%, della lunghezza ( $c_p$ ) della corda di detta sezione aerodinamica di estremità superiore ( $S_s$ ) o di detta sezione di estremità inferiore.

5. Turbina eolica ad asse verticale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni

precedenti, caratterizzata dal fatto che ciascuna di dette appendici (6) si estende tra detta estremità di radice (7) definita da detta sezione di radice (7') ed una estremità libera (8) definita da una sezione di estremità (8'), la lunghezza di ciascuna di dette appendici (6), definita come la distanza tra detta sezione di radice (7') e detta sezione di estremità (8'),  
5 essendo pari al 75%-150% della lunghezza ( $c_p$ ) della corda di detta sezione aerodinamica di estremità superiore ( $S_s$ ) o inferiore.

6. Turbina eolica ad asse verticale secondo la rivendicazione 5, caratterizzata dal fatto che la lunghezza di ciascuna di dette appendici (6) è sostanzialmente pari alla lunghezza ( $c_p$ ) della corda di detta sezione aerodinamica di estremità superiore ( $S_s$ ) o inferiore.

10 7. Turbina eolica ad asse verticale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detta sezione di radice (7') di ciascuna di dette appendici (6) è contraddistinta da una corda di lunghezza ( $c_{w,r}$ ) e detta sezione di estremità (8') di ciascuna di dette appendici (6) è contraddistinta da una corda di lunghezza ( $c_{w,e}$ ) pari al 40%-60%, e preferibilmente pari a circa il 50%, della lunghezza  
15 ( $c_{w,r}$ ) della corda di detta sezione di radice (7').

8. Turbina eolica ad asse verticale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto che detta sezione di radice (7') di ciascuna di dette appendici (6) è contraddistinta da uno spessore massimo ( $s_{w,r}$ ) e detta sezione di estremità (8') di ciascuna di dette appendici (6) è contraddistinta da uno spessore  
20 massimo ( $s_{w,e}$ ) pari al 40%-60%, e preferibilmente pari a circa il 50%, dello spessore massimo ( $s_{w,r}$ ) di detta sezione di radice (7').

9. Pala per turbina eolica ad asse verticale secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzata dal fatto di estendersi lungo una linea di sviluppo longitudinale (l) sostanzialmente elicoidale attorno ad un asse (Z) e di comprendere:

25 – un corpo centrale (5) che si sviluppa lungo detta linea di sviluppo longitudinale

(l) con un profilo aerodinamico (P) ortogonale a detta linea di sviluppo longitudinale (l), detto corpo centrale (5) estendendosi tra una estremità superiore (5'), definita da una sezione aerodinamica di estremità superiore (S<sub>s</sub>) ortogonale a detta linea di sviluppo longitudinale (l) ed inclinata rispetto a detto  
5 asse (Z), ed una estremità inferiore (5''), definita da una sezione aerodinamica di estremità inferiore ortogonale a detta linea di sviluppo longitudinale (l) ed inclinata rispetto a detto asse verticale (Z), e

- due appendici (6) collegate alle estremità superiore (5') ed inferiore (5'') di detto corpo centrale (5) ed estendentisi ciascuna lungo una direzione radiale (R) sostanzialmente ortogonale a detto asse (Z) verso detto asse (Z) tra una  
10 estremità di radice (7) definita da una sezione di radice (7'), giacente su un piano sostanzialmente verticale ed ortogonale a detta direzione radiale (R), ed una estremità libera (8) definita da una sezione di estremità (8');

dette appendici (6) essendo collegate a dette estremità superiore (5') ed inferiore (5'') di  
15 detto corpo centrale (5) mediante rispettive porzioni di raccordo (9), ciascuna di dette porzioni di raccordo (9) estendendosi tra detta sezione aerodinamica di estremità superiore (S<sub>s</sub>) o inferiore di detto corpo centrale (5) e detta sezione di radice (7') della corrispondente appendice (6).

## CLAIMS

1. Vertical-axis wind turbine, which comprises:

- a central rotation shaft (2) having a vertical axis (Z);
  - two or more blades (3) angularly offset with respect to each other, each of which
- 5 extended along a substantially helical longitudinal extension line (l) and adapted to transmit a rotation motion to said central rotation shaft (2) around the aforesaid vertical axis (Z);

characterized in that each of said blades (3) comprises:

- a central body (5) which is extended along said longitudinal extension line (l)
- 10 with an aerodynamic profile (P) orthogonal to said longitudinal extension line (l), said central body (5) being extended between an upper end (5'), defined by an aerodynamic upper end section (S<sub>s</sub>) orthogonal to said longitudinal extension line (l) and tilted with respect to said vertical axis (Z), and a lower end (5''), defined by an aerodynamic lower end section orthogonal to said longitudinal
- 15 extension line (l) and tilted with respect to said vertical axis (Z), and
- two appendages (6) respectively connected to the upper end (5') and lower end (5'') of said central body (5) and each extended along a radial direction (R) substantially orthogonal to said vertical axis (Z) towards said central rotation shaft (2) starting from a root end (7) defined by a root section (7'), lying on a
- 20 substantially vertical plane orthogonal to said radial direction (R);

said appendages (6) being connected to said upper end (5') and lower end (5'') of said central body (5) by means of respective connector portions (9), each of said connector portions (9) extended between said aerodynamic upper end section (S<sub>s</sub>) or lower end section of said central body (5) and said root section (7') of the corresponding

25 appendage (6).

2. Vertical-axis wind turbine according to claim 1, characterized in that each of said connector portions (9) is defined by a plurality of connector sections ( $S_r$ ) successive with respect to each other starting from said aerodynamic upper end section ( $S_s$ ) or lower end section of said central body (5) towards said root section (7') of the corresponding appendage (6), each of which has a chord ( $c_r$ ) thereof and it is rotated with respect to the preceding connector section ( $S_r$ ) around at least one first rotation axis ( $R'$ ) substantially parallel to said radial direction ( $R$ ) and/or around its chord ( $c_r$ ) thereof, such that said connector sections ( $S_r$ ) are arranged in positions gradually approximate to a position parallel to the substantially vertical lying plane of said root section (7') of the appendage (6).

3. Vertical-axis wind turbine according to any one of the preceding claims, characterized in that said root section (7') of each of said appendages (6) is distinguished by a chord of length ( $c_{w,r}$ ) shorter than the length ( $c_p$ ) of the chord of said aerodynamic upper end section ( $S_s$ ) or of said lower end section and said connector sections ( $S_r$ ) have a chord ( $c_r$ ) gradually decreasing length-wise moving away from said aerodynamic upper end section ( $S_s$ ) or lower end section.

4. Vertical-axis wind turbine according to any one of the preceding claims, characterized in that said root section (7') of each of said appendages (6) is distinguished by a chord with length ( $c_{w,r}$ ) equivalent to 50%-70%, and preferably equivalent to about 60%, of the length ( $c_p$ ) of the chord of said aerodynamic upper end section ( $S_s$ ) or said lower end section.

5. Vertical-axis wind turbine according to any one of the preceding claims, characterized in that each of said appendages (6) is extended between said root end (7) defined by said root section (7') and a free end (8) defined by an end section (8'), the length of each of said appendages (6), defined as the distance between said root section

(7') and said end section (8'), being equivalent to about 75%-150% of the length ( $c_p$ ) of the chord of said aerodynamic upper end section ( $S_s$ ) or lower end section.

6. Vertical-axis wind turbine according to claim 5, characterized in that the length of each of said appendages (6) is substantially equivalent to the length ( $c_p$ ) of the chord of said aerodynamic upper end section ( $S_s$ ) or lower end section.

7. Vertical-axis wind turbine according to any one of the preceding claims, characterized in that said root section (7') of each of said appendages (6) is distinguished by a chord with length ( $c_{w,r}$ ) and said end section (8') of each of said appendages (6) is distinguished by a chord with length ( $c_{w,e}$ ) equivalent to 40%-60%, and preferably equivalent to about 50% of the length ( $c_{w,r}$ ) of the chord of said root section (7').

8. Vertical-axis wind turbine according to any one of the preceding claims, characterized in that said root section (7') of each of said appendages (6) is distinguished by a maximum thickness ( $s_{w,r}$ ) and said end section (8') of each of said appendages (6) is distinguished by a maximum thickness ( $s_{w,e}$ ) equivalent to 40%-60%, and preferably equivalent to about 50%, of the maximum thickness ( $s_{w,r}$ ) of said root section (7').

9. Blade for vertical-axis wind turbine according to any one of the preceding claims, characterized in that it is extended along a longitudinal extension line (l) substantially helical around an axis (Z) and it comprises:

- a central body (5) that is extended along said longitudinal extension line (l) with an aerodynamic profile (P) orthogonal to said longitudinal extension line (l), said central body (5) being extended between an upper end (5'), defined by an aerodynamic upper end section ( $S_s$ ) orthogonal to said longitudinal extension line (l) and tilted with respect to said axis (Z), and a lower end (5''), defined by

an aerodynamic lower end section orthogonal to said longitudinal extension line (l) and tilted with respect to said vertical axis (Z), and

- two appendages (6) connected to the upper end (5') and lower end (5'') of said central body (5) and each being extended along a radial direction (R) substantially orthogonal to said axis (Z) towards said axis (Z) between root end (7) defined by a root section (7'), lying on a substantially vertical plane orthogonal to said radial direction (R), and a free end (8) defined by an end section (8');

said appendages (6) being connected to said upper end (5') and lower end (5'') of said

- 10 central body (5) by means of respective connector portions (9), each of said connector portions (9) being extended between said aerodynamic upper end section ( $S_s$ ) or lower end section of said central body (5) and said root section (7') of the corresponding appendage (6).

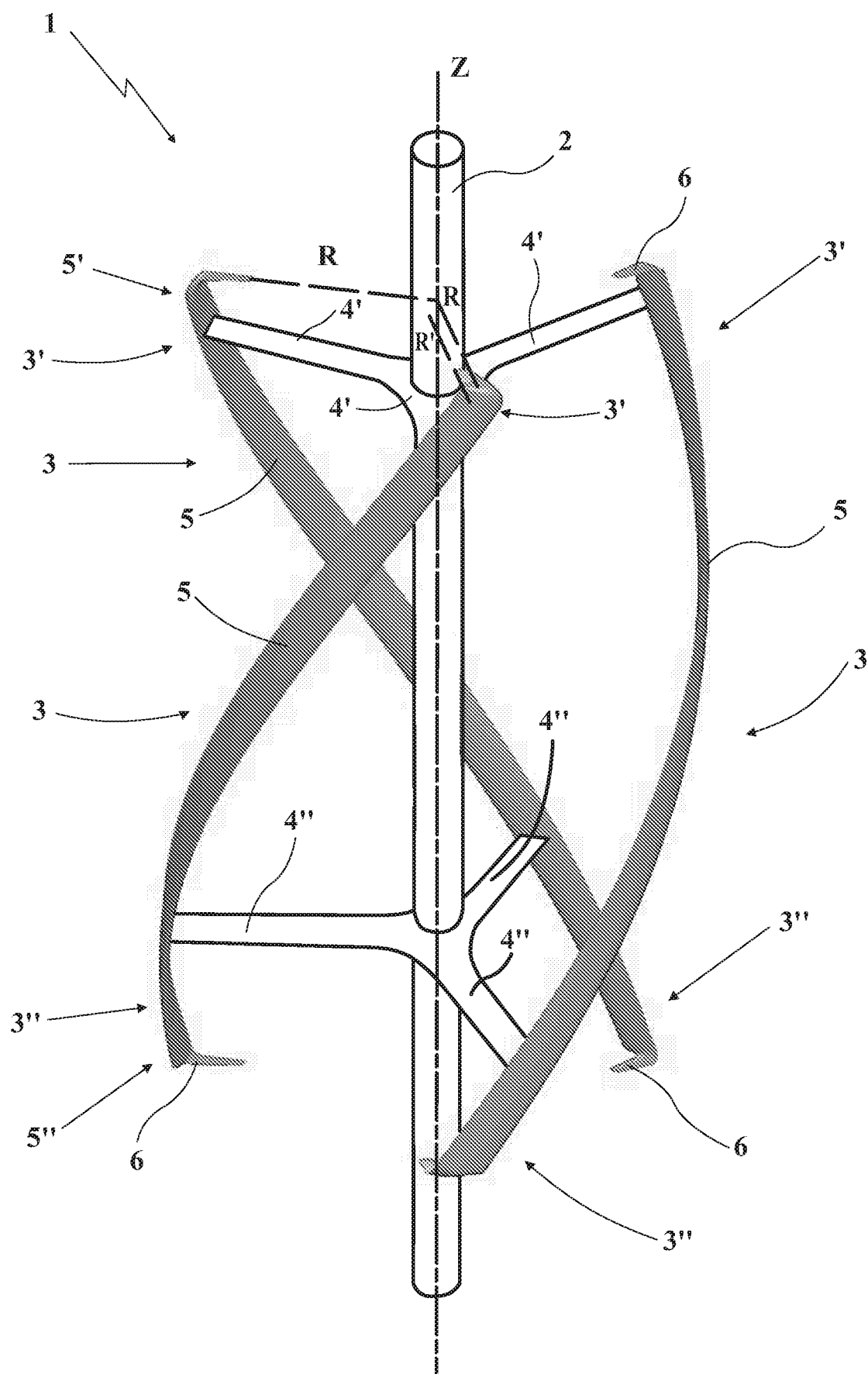


Fig. 1



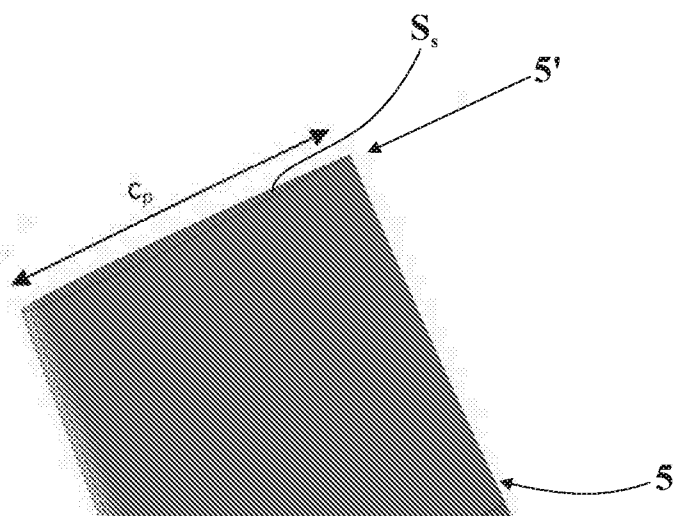


Fig. 4

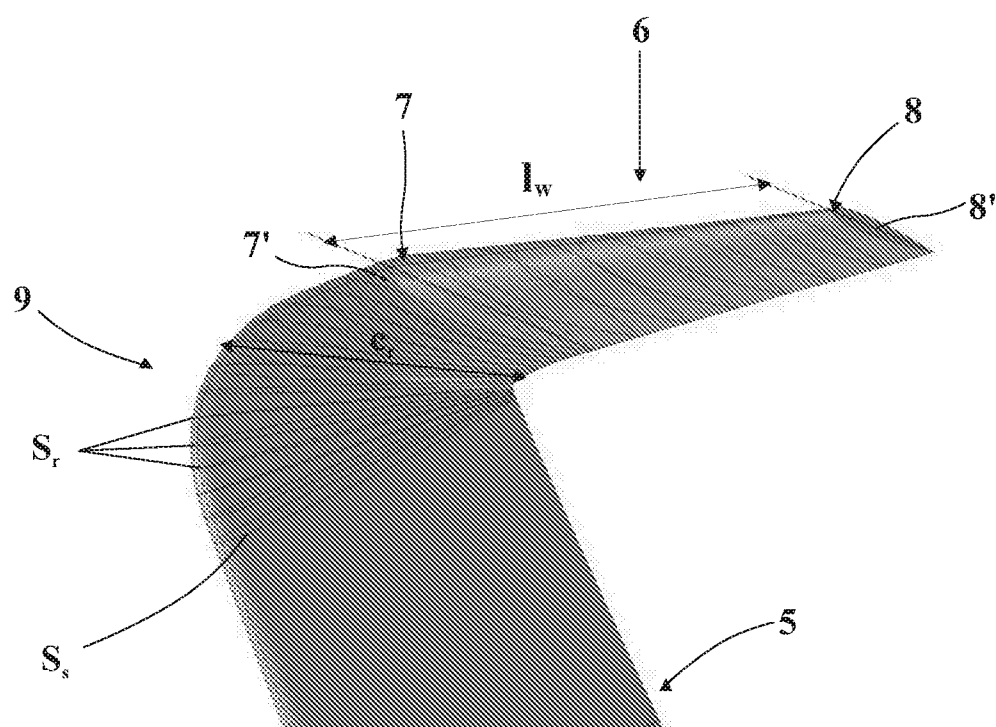


Fig. 5

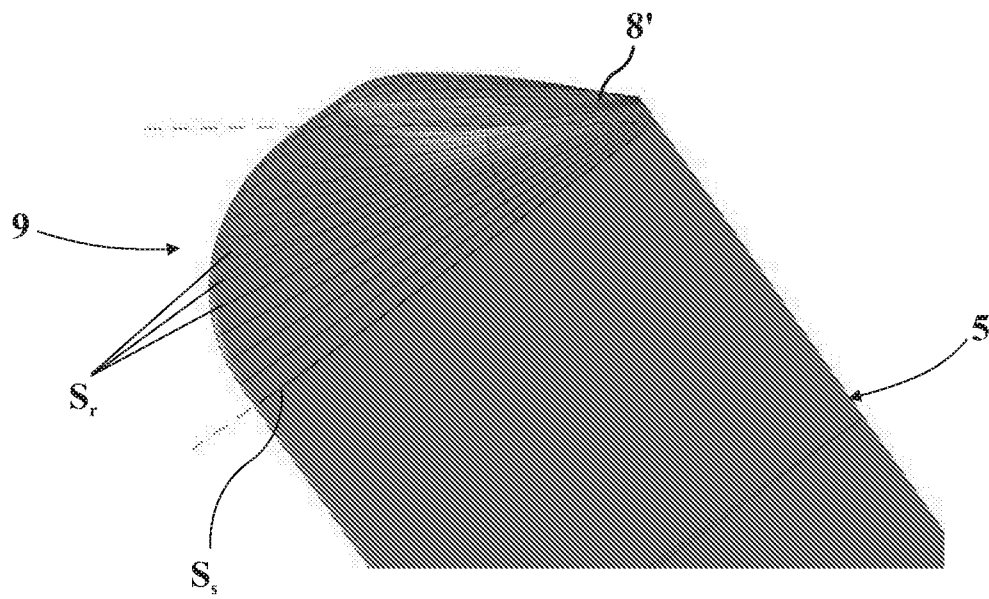


Fig. 6

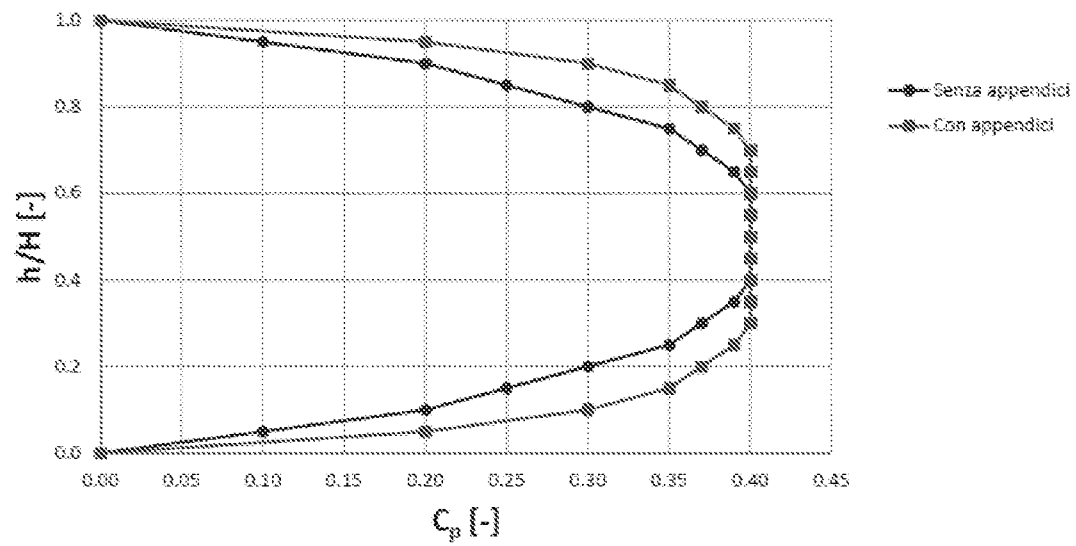


Fig. 7