



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

# UIBM

<b>DOMANDA NUMERO</b>	<b>101982900001253</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>21/12/1982</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>21/06/1984</b>

<b>Priorità</b>	334.617
<b>Nazione Priorità</b>	US
<b>Data Deposito Priorità</b>	28-DEC-81

Titolo

ELEMENTO AERODINAMICO RAFFREDDABILE PER MACCHINE ROTATIVE
---

# DOCUMENTAZIONE RILEGATA

BI-5513

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"ELEMENTO AERODINAMICO RAFFREDDABILE PER MACCHINE ROTATIVE"

della: United Technologies Corporation

Società dello Stato del delaware

a: Hartford, Connecticut U.S.A.

Inventori: Russell A. SCHWARZ MANN, William R. SEVCIK, Jr.



**21 DIC. 1982**

\*\*\*\*\*

**24879A/82**

**RIASSUNTO**

Viene presentato un elemento aerodinamico raffreddabile 10 per macchine rotative. L'elemento aerodinamico ha un passaggio 54 che si estende nel senso dell'apertura alare attraverso la zona del bordo di attacco 26 della pala. Il primo passaggio ha una serie di alette 66s, 66p inclinate verso il flusso in arrivo ed angolate rispetto alla parete nella zona del bordo di attacco per aumentare turbolentemente la quantità di aria di raffreddamento fatta fluire verso la parte più anteriore del passaggio nella zona del bordo di attacco. In una forma di realizzazione, un foro 72 in comunicazione fluidica con un passaggio curvo 64 nella zona di punta della pala a valle del primo passaggio é in comunicazione fluidica con il bordo di uscita della pala.

**TESTO DELLA DESCRIZIONE**

La presente invenzione riguarda degli elementi aerodinamici raffreddabili usati nelle macchine rotative ad alta temperatura e più specificatamente la struttura di raffreddamento di tali elementi aerodinamici. I concetti presentati trovano applicazione sia nelle pale che nelle palette delle turbine.

Le macchine rotative bruciano combustibile nelle camere di combustione in

modo da fornire energia alla macchina sotto forma di mezzo di lavoro caldo costituito da gas. I gas di lavoro caldi vengono fatti fluire verso la sezione di turbina della macchina. Nella sezione di turbina, gli elementi aerodinamici formano degli insiemi fissi di pale di statore e degli insiemi ruotanti di pale di girante. Questi elementi aerodinamici vengono utilizzati per dirigere il flusso dei gas e per estrarre l'energia dai gas. Di conseguenza, gli elementi aerodinamici sono immersi nei gas di lavoro caldi durante il funzionamento del motore il che provoca delle sollecitazioni termiche negli elementi aerodinamici che influenzano l'integrità strutturale e la durata a fatica dell'elemento aerodinamico. Queste sollecitazioni termiche sono fonte costante di preoccupazione sin dall'avvento delle macchine rotative ad alta temperatura, quali i motori a turbina a gas, data la necessità di azionare il motore ad elevate temperature per massimizzare il suo rendimento. Per esempio, gli elementi aerodinamici delle turbine di tali motori possono trovarsi a temperature dei gas di lavoro di 1370°C (milletrecentosettanta gradi centigradi). Le pale e le palette di questi motori vengono tipicamente raffreddate in modo da mantenere l'integrità strutturale e la durata a fatica dell'elemento aerodinamico riducendo il livello delle sollecitazioni termiche nell'elemento aerodinamico.

Uno dei primi approcci al raffreddamento degli elementi aerodinamici viene mostrato nel brevetto USA N° 3171631 dal titolo "Paletta di turbina". In questo brevetto, l'aria di raffreddamento viene fatta fluire verso la cavità tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione dell'elemento aerodinamico e deviata verso varie ubicazioni nella cavità mediante l'uso di piedestalli o pale ruotanti. I piedestalli servono anche da elementi di supporto per rafforzare la struttura della pala.

Con il passare del tempo, sono stati sviluppati degli approcci più sofisticati che utilizzano dei passaggi tortuosi come esemplificato nella struttura mostrata nel brevetto USA N° 3 533 712 dal titolo "Struttura di paletta raffreddata per turbine ad alta temperatura". Questo brevetto mostra l'uso di passaggi a serpentina che si estendono attraverso la cavità nella paletta in modo da fornire un raffreddamento su misura alle diverse parti dell'elemento aerodinamico. Il materiale dell'elemento aerodinamico che definisce i passaggi fornisce il necessario supporto strutturale per l'elemento aerodinamico.

I brevetti successivi, quali il brevetto USA N° 4 073 599 dal titolo "Chiusura della punta di una pala di turbina cava" mostra l'uso di passaggi di raffreddamento intricati accoppiati ad altre tecniche per raffreddare l'elemento aerodinamico. Per esempio, in questo brevetto, la zona del bordo di attacco viene raffreddata mediante raffreddamento a getto seguito dallo scarico dell'aria di raffreddamento attraverso un passaggio che si estende nel senso dell'apertura alare nella zona del bordo di attacco della pala. Il flusso d'aria nel passaggio raffredda inoltre per convezione la zona del bordo di attacco come faceva il passaggio nel brevetto USA N° 3 171 631.

Il raffreddamento degli elementi aerodinamici di turbina che utilizza passaggi di raffreddamento intricati aventi passate multiple e fori di raffreddamento a velo da soli o in unione a delle alette per promuovere il raffreddamento della regione del bordo di attacco, è oggetto di molti dei brevetti più recenti quali: brevetto USA N° 4 177 010 dal titolo "Pala di girante raffreddata per motore a turbina a gas" (fori di raffreddamento a velo); brevetto USA N° 4 180 373 dal titolo "Pala di turbina" (fori di raffreddamento a velo ed alette); brevetto USA N° 4 224 011 dal titolo "Pala di girante raffreddata per

motore a turbina a gas" (fori di raffreddamento a velo) e brevetto USA N° 4 278 400 dal titolo "Pala di girante raffreddabile" (fori di raffreddamento a velo ed alette). Queste pale sono caratterizzate da grossi passaggi dell'aria di raffreddamento in relazione allo spessore delle pareti nella zona del bordo di attacco della pala.

I recenti studi di aerodinamica suggeriscono che un bordo di attacco ellittico presenti dei vantaggi di esecuzione durante il funzionamento del motore a turbina a gas. Il bordo di attacco ellittico viene usato unitamente ad un elemento aerodinamico di forma in sezione trasversale più sottile (spessore rispetto alla lunghezza della corda) in confronto con gli elementi aerodinamici precedenti. Nonostante la sottigliezza del profilo, è necessario uno spessore minimo delle pareti per dare il supporto strutturale all'elemento aerodinamico e per consentire all'elemento aerodinamico di sostenere una certa incidenza di danni da oggetti estranei, statisticamente prevista. Il risultato è stato l'avvento di un nuovo elemento aerodinamico avente un bordo di attacco ellittico per scopi aerodinamici ed avente delle pareti più spesse relativamente alla misura dei passaggi dell'aria di raffreddamento rispetto alla relazione tra le pareti e la dimensione dei passaggi negli elementi aerodinamici precedenti. Inoltre, per il miglior rendimento del combustibile, non è desiderabile in alcuni stadi della turbina usare il raffreddamento a velo per la zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico.

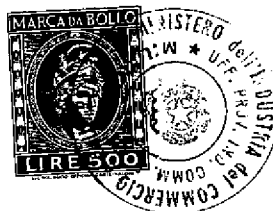
Di conseguenza, scienziati e tecnici cercano di sviluppare degli elementi aerodinamici raffreddabili da usarsi nelle turbine ad alta temperatura che utilizzano efficientemente l'aria di raffreddamento, che raffredda adeguatamente la zona del bordo di attacco degli elementi aerodinamici con

passaggi stretti rispetto allo spessore delle pareti degli elementi aerodinamici ed inoltre evitano di scaricare l'aria di raffreddamento attraverso il raffreddamento a velo dalla zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico.

Secondo la presente invenzione, un elemento aerodinamico raffreddabile avente un passaggio per il fluido di raffreddamento adiacente ad una parete nella zona del bordo di attacco include una serie di alette che si estendono attraverso il passaggio le quali sono inclinate verso il flusso in arrivo ed inclinate rispetto alla parete nella zona del bordo di attacco.

In una forma di realizzazione dettagliata, il passaggio nella zona del bordo di attacco é in comunicazione fluidica con la zona del bordo di uscita attraverso un passaggio curvo ed un foro che collega il passaggio curvo alla zona del bordo di uscita per scaricare il materiale in particelle dal primo passaggio e fornire un ulteriore raffreddamento alla zona del bordo di attacco, al passaggio curvo ed alla zona del bordo di uscita.

Una caratteristica primaria della presente invenzione consiste in un elemento aerodinamico avente un passaggio di raffreddamento nella zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico. Una parete nella zona del bordo di attacco delimita il passaggio. Diverse alette sono inclinate rispetto alla parete e sono inclinate verso il flusso in arrivo. In una forma di realizzazione, l'altezza delle alette é superiore al 10% ma inferiore al 33% dell'altezza del passaggio. Le alette si estendono in prossimità del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico. In una forma di realizzazione la zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico ha una superficie esterna di forma ellittica ed una superficie interna di forma cilindrica avente un raggio  $r_1$ . La serie di alette angolate verso il flusso in arrivo ha un'altezza che é superiore o uguale al raggio



UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.

ri.

Un vantaggio principale della presente invenzione é dato dalla durata dell'elemento aerodinamico risultante dallo spessore delle pareti nella zona del bordo di attacco che protegge l'elemento aerodinamico dai danni da oggetti estranei e dal raffreddamento delle pareti ispessite che impedisce una sollecitazione termica indebita nelle pareti. In una forma di realizzazione, la durata dell'elemento aerodinamico viene migliorata togliendo il materiale in particelle dalla zona di punta dell'elemento aerodinamico tramite un condotto che porta l'aria di raffreddamento attraverso le zone di basso flusso dell'elemento aerodinamico. Un altro vantaggio é costituito dall'aumento del rendimento della macchina rotativa che risulta dall'incanalamento di una parte del flusso di raffreddamento per aumentare l'efficacia di raffreddamento del flusso.

Altre caratteristiche e vantaggi diverranno chiari dalla descrizione e dalle rivendicazioni nonché dai disegni allegati che illustrano una forma di realizzazione dell'invenzione.

La figura 1 é una vista di una pala di girante parzialmente in sezione e parzialmente asportata per mostrare la parete laterale di aspirazione della pala della girante;

La figura 2 é una vista in sezione trasversale presa lungo le linee 2-2 della figura 1; e

La figura 3 é una vista prospettica parziale lungo le linee 3-3 della figura 2 ed illustra schematicamente una parte del flusso nella zona del bordo di attacco della pala della girante.

La figura 1 mostra una pala di girante 10 per una macchina rotativa. La



pala di girante ha una sezione di radice 12, una sezione di piattaforma 14 ed una sezione di elemento aerodinamico 16. La sezione di radice é atta ad impegnare la girante di una macchina rotativa. La sezione di piattaforma é atta a formare una parte della parete interna del percorso di flusso per i gas che costituiscono il mezzo di lavoro in una macchina rotativa. La sezione dell'elemento aerodinamico é atta ad estendersi verso l'esterno attraverso il percorso di flusso dei gas che costituiscono il mezzo di lavoro ed ha una punta 18 alla sua estremità più esterna. La pala della girante ha delle direzioni di riferimento quali la direzione S nel senso dell'apertura alare e la direzione C nel senso della corda.

La sezione di radice 12 ha una parete di radice 20 che si estende nel senso della corda. Un primo condotto 22 é in comunicazione fluidica attraverso la parete di radice con una fonte dell'aria di raffreddamento quale un compressore (non mostrato). Un secondo condotto 24 si estende attraverso la parete di radice. Una piastra 25 si estende attraverso il secondo condotto e blocca la comunicazione di fluido con una fonte di aria di raffreddamento (non mostrata). In una forma di realizzazione alternativa, il secondo condotto é in comunicazione fluidica con la fonte di aria di raffreddamento.

La sezione dell'elemento aerodinamico 16 ha un bordo di attacco 26 ed un bordo di uscita 28. Una parete laterale di aspirazione 30 e una parete laterale di pressione 32 (parzialmente asportate per chiarezza nella figura 1 e mostrate nella figura 2) sono congiunte in corrispondenza del bordo di attacco e del bordo di uscita. La parete laterale di pressione é distanziata dalla parete laterale di aspirazione in modo da formare una cavità 34 tra di esse. Una parete di punta 36 e la parete di radice 20 delimitano la cavità nella direzione del senso dell'apertura alare. Un primo deflettore 38 si estende nella direzione del senso

dell'apertura alare dalla parete di punta in modo da dividere la cavità in una parte posteriore 40 e in una parte anteriore 42. Il primo deflettore é distanziato dalla parete di radice lasciando un primo passaggio curvo 44 tra di essi che mette in comunicazione fluidica la parte posteriore della pala della girante con la parte anteriore e con il secondo condotto 24 che si estende attraverso la sezione di radice della pala. La parte posteriore della pala include una zona di bordo di uscita 46. La zona del bordo di uscita é in comunicazione fluidica con il percorso del flusso del mezzo di lavoro attraverso una serie di piedestalli distanziati 48. Ogni piedestallo si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione per bloccare localmente il flusso e, con il primo deflettore, definire un passaggio 50 che si estende nel senso dell'apertura alare per l'aria di raffreddamento. Una serie di alette 52 sono perpendicolari al flusso in arrivo ed interferiscono con la formazione di uno strato limite laminare provocando un flusso turbolento nello strato limite quando il flusso passa sulle alette.

Un secondo deflettore 53 si estende in una direzione nel senso dell'apertura alare dalla parete di radice 20 in modo da dividere la parte anteriore 42 della pala in un primo passaggio 54 e in un secondo passaggio 56. Il primo passaggio é adiacente ad una terza parete 58 nella zona del bordo di attacco della pala. Il primo passaggio ha un'estremità a monte 60 in comunicazione fluidica con il primo condotto 22 ed un'estremità a valle 62 in comunicazione fluidica attraverso un passaggio curvo 64 con il secondo passaggio. Una prima serie di alette 66s si estende attraverso il passaggio e si estende dalla parete laterale di aspirazione. Una seconda serie di alette 66p si estende dalla parete laterale di pressione. Le alette 66p sono sfalsate rispetto alle alette 66s in modo tale per cui le alette 66s e 66p si estendono alternativamente attraverso il primo

passaggio. Le alette sono inclinate verso il flusso in arrivo ed angolate in modo da formare un angolo acuto  $\alpha$  rispetto alla terza parete 58. L'angolo acuto  $\alpha$  é di circa  $30^\circ$ . Il primo passaggio ha un'asse Ap. La direzione generale di flusso dell'aria di raffreddamento é parallela all'asse Ap. Una serie di pale curve 68 é disposta nel passaggio curvo 64 formato tra la parete di punta 36 ed il secondo deflettore che é distanziato dalla parete di punta. Le pale curve si estendono tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione e dirigono il flusso dal primo passaggio nel secondo passaggio. Il secondo passaggio ha una serie di alette 69 perpendicolari al percorso del flusso dell'aria di raffreddamento.

Il passaggio curvo 64 ha una zona d'angolo 70. In una forma di realizzazione alternativa della pala della girante, la pala della girante é dotata di un foro 72 nella zona di punta per deviare una parte del flusso dal passaggio curvo 64 alla zona del bordo di uscita 46 della pala. Il foro 72 aumenta il flusso dell'aria di raffreddamento attraverso la zona d'angolo fornendo un ulteriore raffreddamento alla zona d'angolo. L'area del foro nel deflettore é inferiore al due per cento (2%) dell'area di flusso del primo passaggio ed inferiore al due per cento (2%) dell'area di flusso del secondo passaggio. Il foro fornisce inoltre un condotto per portare il materiale in particelle introdotto dall'aria di raffreddamento ed intrappolato nella zona d'angolo mediante le forze rotazionali dalla zona di punta dell'elemento aerodinamico alla parte posteriore della pala per scaricarlo dalla pala.

La figura 2 é una vista in sezione trasversale di una parte della pala di girante mostrata nella figura 1 presa lungo le linee 2-2 della figura 1. La pala di girante ha una superficie esterna 74 di forma ellittica ed una superficie interna

76 di forma cilindrica avente un raggio  $r_1$ . Il passaggio in corrispondenza della sezione nel senso della corda presa lungo le linee 2-2 della figura 1 ha una linea mediana M, una larghezza W misurata lungo la mediana e un'altezza H in un qualsiasi punto lungo una linea perpendicolare alla mediana. L'aletta ha un'altezza corrispondente H che è superiore al dieci per cento (10%) ma inferiore al trentatré per cento (33%) dell'altezza del passaggio. Ogni aletta si estende attraverso la larghezza del passaggio in prossimità della zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico. L'elemento aerodinamico ha un pezzo di transizione 78 che si estende dalla parete laterale di pressione e dalla parete laterale di aspirazione verso ogni aletta. Il pezzo di transizione è formato integralmente con l'aletta per ridurre le concentrazioni delle sollecitazioni all'estremità dell'aletta. L'aletta è distanziata dalla parete 58 nella zona del bordo di attacco di una distanza d. La distanza d ha un valore uguale o superiore all'altezza h dell'aletta ma è inferiore o uguale a 5 volte l'altezza dell'aletta ( $h \leq d \leq 5h$ ). Come mostrato nella figura 1 e nella figura 2, le alette 66p disposte sulla parete laterale di pressione sono parallele e distanziate nel senso dell'apertura alare da un'aletta adiacente sulla parete laterale di aspirazione.

Durante il funzionamento della pala della girante, l'aria di raffreddamento viene fatta fluire attraverso la sezione di radice tramite il primo condotto 22. L'aria di raffreddamento che lascia il primo condotto entra nell'estremità a monte 60 del primo passaggio 54 adiacente alla zona del bordo di attacco 26 della pala. L'aria viene fatta fluire sulle alette e la massa dell'aria procede parallela all'asse del primo passaggio come mostrato dalla linea indicata Ap nella figura 1.

La figura 3 è un'illustrazione schematica dell'interazione tra le due linee di



flusso  $S_1$  ed  $S_2$  dell'aria di raffreddamento quando l'aria di raffreddamento passa su due alette 66s sulla superficie di aspirazione dell'elemento aerodinamico. Queste due linee di flusso sono adiacenti alla superficie di aspirazione dell'elemento aerodinamico e quando passano sulle alette, una parte del flusso lungo la linea di flusso viene deviata verso la zona del bordo di attacco come mostrato dalle linee tratteggiate  $S_1'$ ,  $S_1''$ ,  $S_2'$  e  $S_2''$ . Inoltre, quando le linee di flusso passano sulle alette, si formano dei piccoli vortici sul lato a monte della alette ed in virtù della natura angolata delle alette, vengono diffusi con una componente di velocità che si estende nella direzione nel senso della corda facendo sì che i piccoli vortici si spostino verso la zona del bordo di attacco e nella zona del bordo di attacco come mostrato dai vortici  $V_1'$  e  $V_1''$  provocando una turbolenza nella zona del bordo di attacco ed interferendo con la formazione di uno strato limite laminare nella zona del bordo di attacco. Altri vortici ( $V_2'$ ,  $V_2''$ ) si spostano in tale direzione generale interferendo con la formazione dello strato limite laminare tra il flusso della corrente principale e la parete provocando un flusso turbolento nello strato limite. Questa azione aumenta il trasferimento di calore tra la parete laterale di aspirazione ed il flusso dell'aria di raffreddamento. Gli esperimenti condotti su modelli in acqua della pala confermano (tramite l'iniezione di un colorante nel punto A della figura 1) che le alette fanno sì che la parte del flusso adiacente alle alette si sposti nella zona del bordo di attacco dello strato limite come mostrato dalla linea tratteggiata A'. Questa deviazione del flusso è particolarmente di aiuto quando il flusso entra nella zona della corda media MCR della pala provocando una turbolenza ed un ulteriore raffreddamento nella parte molto stretta del bordo di attacco del primo passaggio. La zona della corda media MCR della pala è un'area di trasferimento

del calore critica dato lo spessore delle pareti e la quantità di calore trasferito alla zona dai gas che costituiscono il mezzo di lavoro. La zona critica della corda media (MCR) viene efficientemente raffreddata con il flusso turbolento aumentato indotto dalle alette angolate. Quando il flusso lascia il primo passaggio e si sposta attraverso le palette curve, viene parzialmente bloccato dalle parti dell'elemento aerodinamico dalle palette curve. In virtù della sottigliezza della zona della punta, il bloccaggio del flusso non é accompagnato da una grave penalizzazione di sollecitazione termica come avverrebbe con il bloccaggio di tale flusso nella zona della corda media MCR della pala. L'aria di raffreddamento viene fatta fluire attraverso la curva e fluisce attraverso il secondo passaggio 56 tramite il primo passaggio curvo 44 verso il passaggio 50 nella parte posteriore della pala.

Nella forma di realizzazione alternativa in cui il secondo condotto 24 ed il passaggio curvo 44 sono in comunicazione fluidica con una fonte di aria di raffreddamento, il secondo condotto ed il passaggio curvo agiscono da iniettore nel punto di giunzione tra il passaggio curvo del condotto che porta il flusso di aria di raffreddamento attraverso la zona del bordo di attacco verso la zona del bordo di uscita dove viene usato per un ulteriore raffreddamento prima di essere scaricato dalla pala.

Un vantaggio particolare e distinto di questa invenzione é costituito dall'aumento della turbolenza nella zona del bordo anteriore che porta ad un aumento del raffreddamento nella zona critica della corda media della pala. Benché vengano usate delle alette aventi un angolo di  $30^\circ$ , si ritiene che delle alette con un angolo compreso tra  $15^\circ$  e  $60^\circ$  si dimostrino efficaci a seconda della velocità del flusso nel passaggio e dell'altezza delle alette. Nella

particolare forma di realizzazione mostrata, le alette 66s e 66p hanno un'altezza nominale di 0,389 mm con una tolleranza di più o meno 0,0762 mm.

Sebbene la presente invenzione sia stata mostrata e descritta con riferimento ad una forma di realizzazione preferita, é chiaro per gli esperti della tecnica che diversi cambiamenti di forma e di dettaglio possono essere apportati senza scostarsi dallo spirito e dallo scopo dell'invenzione.

#### RIVENDICAZIONI

1. Elemento aerodinamico raffreddabile del tipo avente un passaggio per un fluido di raffreddamento delimitato da una parete nella zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico, caratterizzato dal perfezionamento che comprende una serie di alette che si estendono attraverso il passaggio le quali sono inclinate verso il flusso in arrivo ed angolate formando un angolo acuto rispetto a detta parete in cui le alette promuovono la turbolenza nel flusso per aumentare il trasferimento di calore tra il fluido e l'elemento aerodinamico ed in cui le alette deviano una parte del flusso contro detta parete e provocano la formazione di vortici che promuovono la turbolenza nel fluido adiacente a detta parete.
2. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che ogni aletta si estende attraverso la larghezza del passaggio in prossimità della zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico.
3. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto che ogni aletta ha un'altezza che é superiore al dieci per cento ma inferiore al trentatre per cento dell'altezza del passaggio.
4. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta parete é una prima parete e dal fatto di avere

inoltre un deflettore avente una seconda parete distanziata dalla prima parete che si estende nella stessa direzione della prima parete, in cui l'aletta si estende dalla seconda parete verso la prima parete ed é distanziata dalla prima parete di una distanza  $d$ , la distanza  $d$  avendo un valore uguale o superiore all'altezza  $h$  dell'aletta ma inferiore o uguale o 5 volte l'altezza dell'aletta ( $h \geq d \geq 5h$ ).

5. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che la parete nella zona del bordo di attacco ha una superficie esterna di forma ellittica, una superficie interna di forma cilindrica avente un raggio  $r_i$  e caratterizzato dal fatto che l'altezza dell'aletta é superiore al raggio  $r_i$ .

6. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 4 caratterizzato dal fatto che l'elemento aerodinamico ha una parete laterale di aspirazione ed una parete laterale di pressione e dal fatto che la serie delle alette é una prima serie di alette disposta sulla parete laterale di aspirazione, e caratterizzato dal fatto che una serie di seconde alette é disposta sulla parete laterale di pressione e ciascuna aletta é distanziata nel senso dell'apertura alare e parallela ad un'aletta adiacente sulla parete laterale di aspirazione in modo tale per cui le alette sono disposte lungo il passaggio in successione alternata tra la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione.

7. Pala di girante raffreddabile del tipo avente una prima parete laterale, una seconda parete laterale di fronte alla prima parete laterale che é distanziata dalla prima parete laterale in modo da formare un passaggio tra di esse per l'aria di raffreddamento delimitato da una terza parete nella zona del bordo di attacco, il passaggio avendo un'estremità a monte, un'estremità a valle ed un'asse parallela alla direzione del flusso, caratterizzata dal perfezionamento



che comprende: almeno un'aletta che sporge dalla prima parete laterale ed é distanziata dalla seconda parete laterale che si estende lungo la prima parete laterale da un primo punto in prossimità della terza parete verso un secondo punto a monte del primo punto e più distanziata dalla terza parete di detto primo punto in modo tale per cui l'aletta é inclinata verso il flusso in arrivo dell'aria di raffreddamento e forma un angolo acuto compreso tra quindici (15) gradi e quarantacinque (45) gradi rispetto all'asse del passaggio e rispetto alla prima parete.

8. Pala di girante raffreddabile secondo la rivendicazione 7, caratterizzata dal fatto che l'angolo acuto é pari a trenta (30) gradi.

9. Pala di girante raffreddabile per macchine rotative a flusso assiale e comprendente:

una sezione di radice che consente alla pala della girante di impegnarsi in un complessivo di girante, la sezione di radice avendo una parete di radice che si estende nel senso della corda, un primo condotto atto ad essere in comunicazione fluidica attraverso la parete della radice con una fonte di aria di raffreddamento ed un secondo condotto che si estende attraverso la parete di radice,

una sezione di elemento aerodinamico avente

un bordo di attacco,

un bordo di uscita,

una parete laterale di aspirazione,

una parete laterale di pressione congiunta alla parete laterale di aspirazione in corrispondenza del bordo di attacco e del bordo di uscita e distanziata dalla parete laterale di aspirazione in modo da formare una cavità tra di esse,

una parete di punta che si estende in una direzione nel senso della corda tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione,

un primo deflettore che si estende nella direzione nel senso dell'apertura alare dalla parete di punta in modo da dividere la cavità in una parte posteriore e in una parte anteriore e che é distanziato dalla parete nella sezione di base lasciando tra di essi un primo passaggio curvo,

un secondo deflettore che si estende nella direzione nel senso dell'apertura alare dalla parete di radice in modo da dividere la parte anteriore in un primo passaggio che si estende verso l'esterno dalla zona di radice verso la zona di punta ed un secondo passaggio che si estende verso l'interno dalla zona di punta alla zona di radice, il secondo deflettore essendo distanziato dalla parete di radice lasciando tra di essi un secondo passaggio curvo,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio ha una serie di alette nel primo passaggio che sono inclinate rispetto al flusso in arrivo ed angolate rispetto alla parete nella zona del bordo di attacco del primo passaggio per provocare una turbolenza nello strato limite della parete laterale di aspirazione, nella parete laterale di pressione e nella zona del bordo di attacco e da dirigere il flusso dell'aria di raffreddamento verso la zona del bordo di attacco per aumentare il raffreddamento della zona del bordo di attacco e lungo la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione,

caratterizzata dal fatto che il secondo passaggio curvo ha una zona d'angolo ed una serie di pale curve per dirigere il flusso verso il secondo passaggio,

caratterizzata dal fatto che il secondo passaggio ha una serie di alette



perpendicolari alla direzione del flusso,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio curvo si estende tra il secondo passaggio e la parte posteriore per mettere in comunicazione fluidica la parte posteriore con il secondo passaggio, e

caratterizzata dal fatto che la parte posteriore della pala ha una serie di piedestalli che si estendono tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione con degli spazi tra di essi per consentire lo scarico dell'aria di raffreddamento dalla pala della girante, la serie di piedestalli essendo distanziata dal primo deflettore in modo da definire un passaggio per l'aria di raffreddamento nella parte posteriore della pala, il passaggio avendo una serie di alette perpendicolari al flusso in arrivo.

10. Pala di girante raffreddabile secondo la rivendicazione 9 caratterizzata dal fatto che il primo deflettore ha un foro nella zona di punta che collega il secondo passaggio curvo con la parte posteriore della pala per incanalare l'aria di raffreddamento attraverso il primo passaggio curvo per aumentare il flusso di aria di raffreddamento nella zona di punta del primo deflettore attraverso la zona d'angolo e per portare il materiale in particelle dalla pala della girante.

11. Pala di girante secondo la rivendicazione 8, caratterizzata dal fatto che l'area del foro nel primo deflettore è inferiore al due per cento (2%) dell'area di flusso del primo passaggio ed inferiore al due per cento (2%) dell'area di flusso del secondo passaggio.

12. Pala di girante raffreddabile secondo la rivendicazione 9, caratterizzata dal fatto che detto secondo passaggio curvo è in comunicazione fluidica con detto secondo condotto nella zona di radice, ed il secondo condotto è in comunicazione fluidica con una fonte di aria di raffreddamento per introdurre

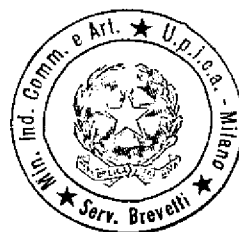
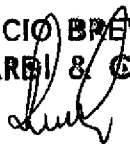
ulteriore aria nella parte posteriore della pala.

13. Pala di girante raffreddabile secondo la rivendicazione 9, caratterizzata dal fatto che la zona di radice della pala ha una piastra che si estende attraverso il secondo condotto per bloccare la comunicazione fluidica tra il secondo condotto ed una fonte di aria di raffreddamento.

p.p. United Technologies Corporation

Società dello Stato del Delaware

UFFICIO BREVETTI  
RICCARI & CO. S.R.L.



Ufficiale Rogante  
Tiefò Messineo



Numero di serie: 334.617

24879A/82

Esaminatore assistente: STINSON

Classe 416 ; Sottoclasse 97 ; Gruppo 242 ;

Data di deposito: 28/12/81

Richiedenti: RUSSELL A. SCHWARZMANN, MARLBOROUGH, CT; WILLIAM R. SEVCIK, JR.  
MANCHESTER, CT.

Titolo dell'invenzione: "ELEMENTO AERODINAMICO RAFFREDDABILE PER MACCHINE  
ROTATIVE"

Inviare corrispondenza a: GENE D. FLEISCHHAUER  
PAT. SEC. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION  
HARTFORD, CT. 06101

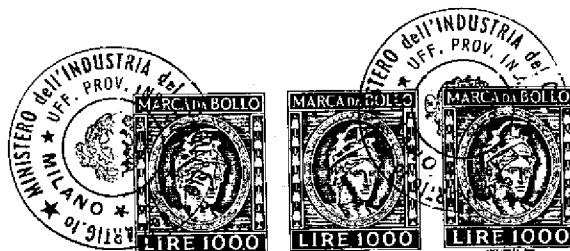
Principale procuratore:

La presente sta a certificare che l'allegata é una copia autentica dai registri dell'Ufficio Brevetti degli Stati Uniti della domanda come originariamente depositata e che é sopraindentificata.

F.to C.W. SMITH

Ufficiale Certificante

Data: 20 SETTEMBRE 1982



## DESCRIZIONE

### "ELEMENTO AERODINAMICO RAFFREDDABILE PER MACCHINE ROTATIVE"

#### **Campo tecnico**

La presente invenzione riguarda degli elementi aerodinamici raffreddabili usati nelle macchine rotative ad alta temperatura e più specificatamente la struttura di raffreddamento di tali elementi aerodinamici. I concetti presentati trovano applicazione sia nelle pale che nelle palette delle turbine.

#### **Fondamento dell'invenzione**

Le macchine rotative bruciano combustibile nelle camere di combustione in modo da fornire energia alla macchina sotto forma di mezzo di lavoro caldo costituito da gas. I gas di lavoro caldi vengono fatti fluire verso la sezione di turbina della macchina. Nella sezione di turbina, gli elementi aerodinamici formano degli insiemi fissi di pale di statore e degli insiemi ruotanti di pale di girante. Questi elementi aerodinamici vengono utilizzati per dirigere il flusso dei gas e per estrarre l'energia dai gas. Di conseguenza, gli elementi aerodinamici sono immersi nei gas di lavoro caldi durante il funzionamento del motore il che provoca delle sollecitazioni termiche negli elementi aerodinamici che influenzano l'integrità strutturale e la durata a fatica dell'elemento aerodinamico. Queste sollecitazioni termiche sono fonte costante di preoccupazione sin dall'avvento delle macchine rotative ad alta temperatura, quali i motori a turbina a gas, data la necessità di azionare il motore ad elevate temperature per massimizzare il suo rendimento. Per esempio, gli elementi aerodinamici delle turbine di tali motori possono trovarsi a temperature dei gas di lavoro di 1370°C (milletrecentosettanta gradi centigradi). Le pale e le palette

di questi motori vengono tipicamente raffreddate in modo da mantenere l'integrità strutturale e la durata a fatica dell'elemento aerodinamico riducendo il livello delle sollecitazioni termiche nell'elemento aerodinamico.

Uno dei primi approcci al raffreddamento degli elementi aerodinamici viene mostrato nel brevetto USA N° 3171631 concesso ad Aspinwall dal titolo "Paletta di turbina". Nel brevetto Aspinwall, l'aria di raffreddamento viene fatta fluire verso la cavità tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione dell'elemento aerodinamico e deviata verso varie ubicazioni nella cavità mediante l'uso di piedestalli o pale ruotanti. I piedestalli servono anche da elementi di supporto per rafforzare la struttura della pala.

Con il passare del tempo, sono stati sviluppati degli approcci più sofisticati che utilizzano dei passaggi tortuosi come esemplificato nella struttura mostrata nel brevetto USA N° 3 533 712 concesso a Kercher dal titolo "Struttura di paletta raffreddata per turbine ad alta temperatura". Kercher mostra l'uso di passaggi a serpentina che si estendono attraverso la cavità nella paletta in modo da fornire un raffreddamento su misura alle diverse parti dell'elemento aerodinamico. Il materiale dell'elemento aerodinamico che definisce i passaggi fornisce il necessario supporto strutturale per l'elemento aerodinamico.

I brevetti successivi, quali il brevetto USA N° 4 073 599 concesso ad Allen e coll. dal titolo "Chiusura della punta di una pala di turbina cava" mostra l'uso di passaggi di raffreddamento intricati accoppiati ad altre tecniche per raffreddare l'elemento aerodinamico. Per esempio, nel brevetto di Allen e coll., la zona del bordo di attacco viene raffreddata mediante raffreddamento a getto seguito dallo scarico dell'aria di raffreddamento attraverso un passaggio che si estende nel senso dell'apertura alare nella zona del bordo di attacco della pala. Il flusso

d'aria nel passaggio raffredda inoltre per convezione la zona del bordo di attacco come faceva il passaggio nel brevetto Aspinwall.

Il raffreddamento degli elementi aerodinamici di turbina che utilizza passaggi di raffreddamento intricati aventi passate multiple e fori di raffreddamento a velo da soli o in unione a delle alette per promuovere il raffreddamento della regione del bordo di attacco, é oggetto di molti dei brevetti più recenti quali: brevetto USA N° 4 177 010 concesso a Greaves e coll. dal titolo "Pala di girante raffreddata per motore a turbina a gas" (fori di raffreddamento a velo); brevetto USA N° 4 180 373 concesso a Moore e coll. dal titolo "Pala di turbina" (fori di raffreddamento a velo ed alette); brevetto USA N° 4 224 011 concesso a Dodd e coll. dal titolo "Pala di girante raffreddata per motore a turbina a gas" (fori di raffreddamento a velo) e brevetto USA N° 4 278 400 concesso a Yamarik e coll. dal titolo "Pala di girante raffreddabile" (fori di raffreddamento a velo ed alette). Queste pale sono caratterizzate da grossi passaggi dell'aria di raffreddamento in relazione allo spessore delle pareti nella zona del bordo di attacco della pala.

I recenti studi di aerodinamica suggeriscono che un bordo di attacco ellittico presenti dei vantaggi di esecuzione durante il funzionamento del motore a turbina a gas. Il bordo di attacco ellittico viene usato unitamente ad un elemento aerodinamico di forma in sezione trasversale più sottile (spessore rispetto alla lunghezza della corda) in confronto con gli elementi aerodinamici precedenti. Nonostante la sottigliezza del profilo, é necessario uno spessore minimo delle pareti per dare il supporto strutturale all'elemento aerodinamico e per consentire all'elemento aerodinamico di sostenere una certa incidenza di danni da oggetti estranei, statisticamente prevista. Il risultato é stato l'avvento



di un nuovo elemento aerodinamico avente un bordo di attacco ellittico per scopi aerodinamici ed avente delle pareti più spesse relativamente alla misura dei passaggi dell'aria di raffreddamento rispetto alla relazione tra le pareti e la dimensione dei passaggi negli elementi aerodinamici precedenti. Inoltre, per il miglior rendimento del combustibile, non é desiderabile in alcuni stadi della turbina usare il raffreddamento a velo per la zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico.

Di conseguenza, scienziati e tecnici cercano di sviluppare degli elementi aerodinamici raffreddabili da usarsi nelle turbine ad alta temperatura che utilizzano efficientemente l'aria di raffreddamento, che raffredda adeguatamente la zona del bordo di attacco degli elementi aerodinamici con passaggi stretti rispetto allo spessore delle pareti degli elementi aerodinamici ed inoltre evitano di scaricare l'aria di raffreddamento attraverso il raffreddamento a velo dalla zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico.

#### **Presentazione dell'invenzione**

Secondo la presente invenzione, un elemento aerodinamico raffreddabile avente un passaggio per il fluido di raffreddamento adiacente ad una parete nella zona del bordo di attacco include una serie di alette che si estendono attraverso il passaggio le quali sono inclinate verso il flusso in arrivo ed inclinate rispetto alla parete nella zona del bordo di attacco.

In una forma di realizzazione dettagliata, il passaggio nella zona del bordo di attacco é in comunicazione fluidica con la zona del bordo di uscita attraverso un passaggio curvo ed un foro che collega il passaggio curvo alla zona del bordo di uscita per scaricare il materiale in particelle dal primo passaggio e fornire un ulteriore raffreddamento alla zona del bordo di attacco, al passaggio curvo ed

alla zona del bordo di uscita.



Una caratteristica primaria della presente invenzione consiste in un elemento aerodinamico avente un passaggio di raffreddamento nella zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico. Una parete nella zona del bordo di attacco delimita il passaggio. Diverse alette sono inclinate rispetto alla parete e sono inclinate verso il flusso in arrivo. In una forma di realizzazione, l'altezza delle alette é superiore al 10% ma inferiore al 33% dell'altezza del passaggio. Le alette si estendono in prossimità del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico. In una forma di realizzazione la zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico ha una superficie esterna di forma ellittica ed una superficie interna di forma cilindrica avente un raggio  $r_i$ . La serie di alette angolate verso il flusso in arrivo ha un'altezza che é superiore o uguale al raggio  $r_i$ .

Un vantaggio principale della presente invenzione é dato dalla durata dell'elemento aerodinamico risultante dallo spessore delle pareti nella zona del bordo di attacco che protegge l'elemento aerodinamico dai danni da oggetti estranei e dal raffreddamento delle pareti ispessite che impedisce una sollecitazione termica indebita nelle pareti. In una forma di realizzazione, la durata dell'elemento aerodinamico viene migliorata togliendo il materiale in particelle dalla zona di punta dell'elemento aerodinamico tramite un condotto che porta l'aria di raffreddamento attraverso le zone di basso flusso dell'elemento aerodinamico. Un altro vantaggio é costituito dall'aumento del rendimento della macchina rotativa che risulta dall'incanalamento di una parte del flusso di raffreddamento per aumentare l'efficacia di raffreddamento del flusso.

Altre caratteristiche e vantaggi diverranno chiari dalla descrizione e dalle rivendicazioni nonché dai disegni allegati che illustrano una forma di realizzazione dell'invenzione.

### **Breve Descrizione dei Disegni**

La figura 1 é una vista di una pala di girante parzialmente in sezione e parzialmente asportata per mostrare la parete laterale di aspirazione della pala della girante;

La figura 2 é una vista in sezione trasversale presa lungo le linee 2-2 della figura 1; e

La figura 3 é una vista prospettica parziale lungo le linee 3-3 della figura 2 ed illustra schematicamente una parte del flusso nella zona del bordo di attacco della pala della girante.

### **Miglior Modo di realizzazione dell'invenzione**

La figura 1 mostra una pala di girante 10 per una macchina rotativa. La pala di girante ha una sezione di radice 12, una sezione di piattaforma 14 ed una sezione di elemento aerodinamico 16. La sezione di radice é atta ad impegnare la girante di una macchina rotativa. La sezione di piattaforma é atta a formare una parte della parete interna del percorso di flusso per i gas che costituiscono il mezzo di lavoro in una macchina rotativa. La sezione dell'elemento aerodinamico é atta ad estendersi verso l'esterno attraverso il percorso di flusso dei gas che costituiscono il mezzo di lavoro ed ha una punta 18 alla sua estremità più esterna. La pala della girante ha delle direzioni di riferimento quali la direzione S nel senso dell'apertura alare e la direzione C nel senso della corda.

La sezione di radice 12 ha una parete di radice 20 che si estende nel senso della corda. Un primo condotto 22 é in comunicazione fluidica attraverso la

parete di radice con una fonte dell'aria di raffreddamento quale un compressore (non mostrato). Un secondo condotto 24 si estende attraverso la parete di radice. Una piastra 25 si estende attraverso il secondo condotto e blocca la comunicazione di fluido con una fonte di aria di raffreddamento (non mostrata). In una forma di realizzazione alternativa, il secondo condotto é in comunicazione fluidica con la fonte di aria di raffreddamento.

La sezione dell'elemento aerodinamico 16 ha un bordo di attacco 26 ed un bordo di uscita 28. Una parete laterale di aspirazione 30 e una parete laterale di pressione 32 (parzialmente asportate per chiarezza nella figura 1 e mostrate nella figura 2) sono congiunte in corrispondenza del bordo di attacco e del bordo di uscita. La parete laterale di pressione é distanziata dalla parete laterale di aspirazione in modo da formare una cavità 34 tra di esse. Una parete di punta 36 e la parete di radice 20 delimitano la cavità nella direzione del senso dell'apertura alare. Un primo deflettore 38 si estende nella direzione del senso dell'apertura alare dalla parete di punta in modo da dividere la cavità in una parte posteriore 40 e in una parte anteriore 42. Il primo deflettore é distanziato dalla parete di radice lasciando un primo passaggio curvo 44 tra di essi che mette in comunicazione fluidica la parte posteriore della pala della girante con la parte anteriore e con il secondo condotto 24 che si estende attraverso la sezione di radice della pala. La parte posteriore della pala include una zona di bordo di uscita 46. La zona del bordo di uscita é in comunicazione fluidica con il percorso del flusso del mezzo di lavoro attraverso una serie di piedestalli distanziati 48. Ogni piedestallo si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione per bloccare localmente il flusso e, con il primo deflettore, definire un passaggio 50 che si estende nel senso dell'apertura alare per l'aria di

raffreddamento. Una serie di alette 52 sono perpendicolari al flusso in arrivo ed interferiscono con la formazione di uno strato limite laminare provocando un flusso turbolento nello strato limite quando il flusso passa sulle alette.

Un secondo deflettore 53 si estende in una direzione nel senso dell'apertura alare dalla parete di radice 20 in modo da dividere la parte anteriore 42 dalla pala in un primo passaggio 54 e in un secondo passaggio 56. Il primo passaggio é adiacente ad una terza parete 58 nella zona del bordo di attacco della pala. Il primo passaggio ha un'estremità a monte 60 in comunicazione fluidica con il primo condotto 22 ed un'estremità a valle 62 in comunicazione fluidica attraverso un passaggio curvo 64 con il secondo passaggio. Una prima serie di alette 66s si estende attraverso il passaggio e si estende dalla parete laterale di aspirazione. Una seconda serie di alette 66p si estende dalla parete laterale di pressione. Le alette 66p sono sfalsate rispetto alle alette 66s in modo tale per cui le alette 66s e 66p si estendono alternativamente attraverso il primo passaggio. Le alette sono inclinate verso il flusso in arrivo ed angolate in modo da formare un angolo acuto  $\alpha$  rispetto alla terza parete 58. L'angolo acuto  $\alpha$  é di circa  $30^\circ$ . Il primo passaggio ha un'asse Ap. La direzione generale di flusso dell'aria di raffreddamento é parallela all'asse Ap. Una serie di pale curve 68 é disposta nel passaggio curvo 64 formato tra la parete di punta 36 ed il secondo deflettore che é distanziato dalla parete di punta. Le pale curve si estendono tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione e dirigono il flusso dal primo passaggio nel secondo passaggio. Il secondo passaggio ha una serie di alette 69 perpendicolari al percorso del flusso dell'aria di raffreddamento.

Il passaggio curvo 64 ha una zona d'angolo 70. In una forma di realizzazione

alternativa della pala della girante, la pala della girante é dotata di un foro 72 nella zona di punta per deviare una parte del flusso dal passaggio curvo 64 alla zona del bordo di uscita 46 della pala. Il foro 72 aumenta il flusso dell'aria di raffreddamento attraverso la zona d'angolo fornendo un ulteriore raffreddamento alla zona d'angolo. L'area del foro nel deflettore é inferiore al due per cento (2%) dell'area di flusso del primo passaggio ed inferiore al due per cento (2%) dell'area di flusso del secondo passaggio. Il foro fornisce inoltre un condotto per portare il materiale in particelle introdotto dall'aria di raffreddamento ed intrappolato nella zona d'angolo mediante le forze rotazionali dalla zona di punta dell'elemento aerodinamico alla parte posteriore della pala per scaricarlo dalla pala.

La figura 2 é una vista in sezione trasversale di una parte della pala di girante mostrata nella figura 1 presa lungo le linee 2-2 della figura 1. La pala di girante ha una superficie esterna 74 di forma ellittica ed una superficie interna 76 di forma cilindrica avente un raggio  $r_1$ . Il passaggio in corrispondenza della sezione nel senso della corda presa lungo le linee 2-2 della figura 1 ha una linea mediana M, una larghezza W misurata lungo la mediana e un'altezza H in un qualsiasi punto lungo una linea perpendicolare alla mediana. L'aletta ha un'altezza corrispondente H che é superiore al dieci per cento (10%) ma inferiore al trentatre per cento (33%) dell'altezza del passaggio. Ogni aletta si estende attraverso la larghezza del passaggio in prossimità della zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico. L'elemento aerodinamico ha un pezzo di transizione 78 che si estende dalla parete laterale di pressione e dalla parete laterale di aspirazione verso ogni aletta. Il pezzo di transizione é formato integralmente con l'aletta per ridurre le concentrazioni delle sollecitazioni



all'estremità dell'aletta. L'aletta é distanziata dalla parete 58 nella zona del bordo di attacco di una distanza  $d$ . La distanza  $d$  ha un valore uguale o superiore all'altezza  $h$  dell'aletta ma é inferiore o uguale a 5 volte l'altezza dell'aletta ( $h \geq d \geq 5h$ ). Come mostrato nella figura 1 e nella figura 2, le alette 66p disposte sulla parete laterale di pressione sono parallele e distanziate nel senso dell'apertura alare da un'aletta adiacente sulla parete laterale di aspirazione.

Durante il funzionamento della pala della girante, l'aria di raffreddamento viene fatta fluire attraverso la sezione di radice tramite il primo condotto 22. L'aria di raffreddamento che lascia il primo condotto entra nell'estremità a monte 60 del primo passaggio 54 adiacente alla zona del bordo di attacco 26 della pala. L'aria viene fatta fluire sulle alette e la massa dell'aria procede parallela all'asse del primo passaggio come mostrato dalla linea indicata  $A_p$  nella figura 1.

La figura 3 é un'illustrazione schematica dell'interazione tra le due linee di flusso  $S_1$  ed  $S_2$  dell'aria di raffreddamento quando l'aria di raffreddamento passa su due alette 66s sulla superficie di aspirazione dell'elemento aerodinamico. Queste due linee di flusso sono adiacenti alla superficie di aspirazione dell'elemento aerodinamico e quando passano sulle alette, una parte del flusso lungo la linea di flusso viene deviata verso la zona del bordo di attacco come mostrato dalle linee tratteggiate  $S_1'$ ,  $S_1''$ ,  $S_2'$  e  $S_2''$ . Inoltre, quando le linee di flusso passano sulle alette, si formano dei piccoli vortici sul lato a monte della alette ed in virtù della natura angolata delle alette, vengono diffusi con una componente di velocità che si estende nella direzione nel senso della corda facendo sì che i piccoli vortici si spostino verso la zona del bordo di attacco e nella zona del bordo di attacco come mostrato dai vortici  $V_1'$  e  $V_1''$  provocando

una turbolenza nella zona del bordo di attacco ed interferendo con la formazione di uno strato limite laminare nella zona del bordo di attacco. Altri vortici ( $V_2'$ ,  $V_2''$ ) si spostano in tale direzione generale interferendo con la formazione dello strato limite laminare tra il flusso della corrente principale e la parete provocando un flusso turbolento nello strato limite. Questa azione aumenta il trasferimento di calore tra la parete laterale di aspirazione ed il flusso dell'aria di raffreddamento. Gli esperimenti condotti su modelli in acqua della pala confermano (tramite l'iniezione di un colorante nel punto A della figura 1) che le alette fanno sì che la parte del flusso adiacente alle alette si sposti nella zona del bordo di attacco dello strato limite come mostrato dalla linea tratteggiata A'. Questa deviazione del flusso è particolarmente di aiuto quando il flusso entra nella zona della corda media MCR della pala provocando una turbolenza ed un ulteriore raffreddamento nella parte molto stretta del bordo di attacco del primo passaggio. La zona della corda media MCR della pala è un'area di trasferimento del calore critica dato lo spessore delle pareti e la quantità di calore trasferito alla zona dai gas che costituiscono il mezzo di lavoro. La zona critica della corda media (MCR) viene efficientemente raffreddata con il flusso turbolento aumentato indotto dalle alette angolate. Quando il flusso lascia il primo passaggio e si sposta attraverso le palette curve, viene parzialmente bloccato dalle parti dell'elemento aerodinamico dalle palette curve. In virtù della sottigliezza della zona della punta, il bloccaggio del flusso non è accompagnato da una grave penalizzazione di sollecitazione termica come avverrebbe con il bloccaggio di tale flusso nella zona della corda media MCR della pala. L'aria di raffreddamento viene fatta fluire attraverso la curva e fluisce attraverso il secondo passaggio 56 tramite il primo passaggio curvo 44 verso il passaggio 50



nella parte posteriore della pala.

Nella forma di realizzazione alternativa in cui il secondo condotto 24 ed il passaggio curvo 44 sono in comunicazione fluidica con una fonte di aria di raffreddamento, il secondo condotto ed il passaggio curvo agiscono da iniettore nel punto di giunzione tra il passaggio curvo del condotto che porta il flusso di aria di raffreddamento attraverso la zona del bordo di attacco verso la zona del bordo di uscita dove viene usato per un ulteriore raffreddamento prima di essere scaricato dalla pala.

Un vantaggio particolare e distinto di questa invenzione é costituito dall'aumento della turbolenza nella zona del bordo anteriore che porta ad un aumento del raffreddamento nella zona critica della corda media della pala. Benché vengano usate delle alette aventi un angolo di  $30^{\circ}$ , si ritiene che delle alette con un angolo compreso tra  $15^{\circ}$  e  $60^{\circ}$  si dimostrino efficaci a seconda della velocità del flusso nel passaggio e dell'altezza delle alette. Nella particolare forma di realizzazione mostrata, le alette 66s e 66p hanno un'altezza nominale di 0,389 mm con una tolleranza di più o meno 0,0762 mm.

Sebbene la presente invenzione sia stata mostrata e descritta con riferimento ad una forma di realizzazione preferita, é chiaro per gli esperti della tecnica che diversi cambiamenti di forma e di dettaglio possono essere apportati senza scostarsi dallo spirito e dallo scopo dell'invenzione.

#### **RIVENDICAZIONI**

1. Elemento aerodinamico raffreddabile del tipo avente un passaggio per un fluido di raffreddamento delimitato da una parete nella zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico, caratterizzato dal perfezionamento che comprende una serie di alette che si estendono attraverso il passaggio le quali sono inclinate

verso il flusso in arrivo ed angolate formando un angolo acuto rispetto a detta parete in cui le alette promuovono la turbolenza nel flusso per aumentare il trasferimento di calore tra il fluido e l'elemento aerodinamico ed in cui le alette deviano una parte del flusso contro detta parete e provocano la formazione di vortici che promuovono la turbolenza nel fluido adiacente a detta parete.

2. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che ogni aletta si estende attraverso la larghezza del passaggio in prossimità della zona del bordo di attacco dell'elemento aerodinamico.

3. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto che ogni aletta ha un'altezza che è superiore al dieci per cento ma inferiore al trentatré per cento dell'altezza del passaggio.

4. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detta parete è una prima parete e dal fatto di avere inoltre un deflettore avente una seconda parete distanziata dalla prima parete che si estende nella stessa direzione della prima parete, in cui l'aletta si estende dalla seconda parete verso la prima parete ed è distanziata dalla prima parete di una distanza  $d$ , la distanza  $d$  avendo un valore uguale o superiore all'altezza  $h$  dell'aletta ma inferiore o uguale a 5 volte l'altezza dell'aletta ( $h \geq d \geq 5h$ ).

5. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che la parete nella zona del bordo di attacco ha una superficie esterna di forma ellittica, una superficie interna di forma cilindrica avente un raggio  $r_i$  e caratterizzato dal fatto che l'altezza dell'aletta è superiore al raggio  $r_i$ .

6. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 4

caratterizzato dal fatto che l'elemento aerodinamico ha una parete laterale di aspirazione ed una parete laterale di pressione e dal fatto che la serie delle alette é una prima serie di alette disposta sulla parete laterale di aspirazione, e caratterizzato dal fatto che una serie di seconde alette é disposta sulla parete laterale di pressione e ciascuna aletta é distanziata nel senso dell'apertura alare e parallela ad un'aletta adiacente sulla parete laterale di aspirazione in modo tale per cui le alette sono disposte lungo il passaggio in successione alternata tra la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione.

7. Pala di girante raffreddabile del tipo avente una prima parete laterale, una seconda parete laterale di fronte alla prima parete laterale che é distanziata dalla prima parete laterale in modo da formare un passaggio tra di esse per l'aria di raffreddamento delimitato da una terza parete nella zona del bordo di attacco, il passaggio avendo un'estremità a monte, un'estremità a valle ed un'asse parallela alla direzione del flusso, caratterizzata dal perfezionamento che comprende: almeno un'aletta che sporge dalla prima parete laterale ed é distanziata dalla seconda parete laterale che si estende lungo la prima parete laterale da un primo punto in prossimità della terza parete verso un secondo punto a monte del primo punto e più distanziata dalla terza parete di detto primo punto in modo tale per cui l'aletta é inclinata verso il flusso in arrivo dell'aria di raffreddamento e forma un angolo acuto compreso tra quindici (15) gradi e quarantacinque (45) gradi rispetto all'asse del passaggio e rispetto alla prima parete.

8. Pala di girante raffreddabile secondo la rivendicazione 7, caratterizzata dal fatto che l'angolo acuto é pari a trenta (30) gradi.

9. Pala di girante raffreddabile per macchine rotative a flusso assiale e

comprendente:

una sezione di radice che consente alla pala della girante di impegnarsi in un complessivo di girante, la sezione di radice avendo una parete di radice che si estende nel senso della corda, un primo condotto atto ad essere in comunicazione fluidica attraverso la parete della radice con una fonte di aria di raffreddamento ed un secondo condotto che si estende attraverso la parete di radice,

una sezione di elemento aerodinamico avente

un bordo di attacco,

un bordo di uscita,

una parete laterale di aspirazione,

una parete laterale di pressione congiunta alla parete laterale di aspirazione in corrispondenza del bordo di attacco e del bordo di uscita e distanziata dalla parete laterale di aspirazione in modo da formare una cavità tra di esse,

una parete di punta che si estende in una direzione nel senso della corda tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione,

un primo deflettore che si estende nella direzione nel senso dell'apertura alare dalla parete di punta in modo da dividere la cavità in una parte posteriore e in una parte anteriore e che é distanziato dalla parete nella sezione di base lasciando tra di essi un primo passaggio curvo,

un secondo deflettore che si estende nella direzione nel senso dell'apertura alare dalla parete di radice in modo da dividere la parte anteriore in un primo passaggio che si estende verso l'esterno dalla zona di radice verso la zona di punta ed un secondo passaggio che si estende verso l'interno dalla zona di punta alla zona di radice, il secondo deflettore



essendo distanziato dalla parete di radice lasciando tra di essi un secondo passaggio curvo,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio ha una serie di alette nel primo passaggio che sono inclinate rispetto al flusso in arrivo ed angolate rispetto alla parete nella zona del bordo di attacco del primo passaggio per provocare una turbolenza nello strato limite della parete laterale di aspirazione, nella parete laterale di pressione e nella zona del bordo di attacco e da dirigere il flusso dell'aria di raffreddamento verso la zona del bordo di attacco per aumentare il raffreddamento della zona del bordo di attacco e lungo la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione,

caratterizzata dal fatto che il secondo passaggio curvo ha una zona d'angolo ed una serie di pale curve per dirigere il flusso verso il secondo passaggio,

caratterizzata dal fatto che il secondo passaggio ha una serie di alette perpendicolari alla direzione del flusso,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio curvo si estende tra il secondo passaggio e la parte posteriore per mettere in comunicazione fluidica la parte posteriore con il secondo passaggio, e

caratterizzata dal fatto che la parte posteriore della pala ha una serie di piedestalli che si estendono tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione con degli spazi tra di essi per consentire lo scarico dell'aria di raffreddamento dalla pala della girante, la serie di piedestalli essendo distanziata dal primo deflettore in modo da definire un passaggio per l'aria di raffreddamento nella parte posteriore della pala, il passaggio avendo una serie di alette perpendicolari al flusso in arrivo.

10. Pala di girante raffreddabile secondo la rivendicazione 9 caratterizzata dal fatto che il primo deflettore ha un foro nella zona di punta che collega il secondo passaggio curvo con la parte posteriore della pala per incanalare l'aria di raffreddamento attraverso il primo passaggio curvo per aumentare il flusso di aria di raffreddamento nella zona di punta del primo deflettore attraverso la zona d'angolo e per portare il materiale in particelle dalla pala della girante.

11. Pala di girante secondo la rivendicazione 8, caratterizzata dal fatto che l'area del foro nel primo deflettore é inferiore al due per cento (2%) dell'area di flusso del primo passaggio ed inferiore al due per cento (2%) dell'area di flusso del secondo passaggio.

12. Pala di girante raffreddabile secondo la rivendicazione 9, caratterizzata dal fatto che detto secondo passaggio curvo é in comunicazione fluidica con detto secondo condotto nella zona di radice, ed il secondo condotto é in comunicazione fluidica con una fonte di aria di raffreddamento per introdurre ulteriore aria nella parte posteriore della pala.

13. Pala di girante raffreddabile secondo la rivendicazione 9, caratterizzata dal fatto che la zona di radice della pala ha una piastra che si estende attraverso il secondo condotto per bloccare la comunicazione fluidica tra il secondo condotto ed una fonte di aria di raffreddamento.

MODULO UNICO DI DICHIARAZIONE E PROCURA  
NELLA DOMANDA ORIGINALE

(ITALIAN LANGUAGE DECLARATION FOR ORIGINAL PATENT APPLICATION)

ATTORNEY'S DOCKET NO.  
(IF ANY)

EH-7513

Io sottoscritto, in qualità di inventore, dichiaro quanto segue:  
che il mio domicilio, recapito postale e cittadinanza sono quelli precisati in calce accanto al mio nome;  
che mi reputo in buona fede essere l'inventore originario, primo ed unico (qualora un solo nominativo risulti elencato appresso) o co-inventore (qualora gli inventori nominati siano due o più), dell'invenzione denominata:

"ELEMENTO IAERODINAMICO RAFFREDDABILE PER MACCHINE ROTATIVE"

[the invention entitled: \_\_\_\_\_]

secondo la descrizione e le rivendicazioni nell'acclusa parte descrittiva; che comprendo il contenuto dell'acclusa descrizione, che nè mi è noto nè mi risulta che tale invenzione sia stata mai divulgata o utilizzata negli Stati Uniti d'America in data anteriore alla mia o nostra invenzione, o che sia stata brevettata o descritta in qualsiasi pubblicazione stampata in qualsivoglia Paese prima della mia o nostra invenzione o con anteriorità di più d'un anno rispetto alla presente domanda, che la medesima non sia stata in uso pubblico o in vendita negli Stati Uniti d'America con anteriorità di più d'un anno rispetto alla presente domanda, che l'invenzione non sia stata brevettata nè abbia costituito oggetto d'un attestato d'invenzione emesso in data anteriore a questa domanda in qualsiasi Paese fuori degli Stati Uniti d'America dietro domanda presentata da me o dai miei rappresentanti legali o cessionari con più di dodici mesi d'anticipo rispetto a questa domanda, che riconosco mio dovere di divulgare informazioni a mia conoscenza che siano pertinenti all'esame della domanda, e che nessuna domanda di brevetto o attestato d'invenzione sia stata presentata in rapporto a tale invenzione in alcun Paese fuori degli Stati Uniti d'America in data anteriore a questa domanda, da parte mia o dei miei rappresentanti legali o cessionari, salvo come segue:

COUNTRY	APPLICATION NUMBER	FILING DATE (day, month, year)	PRIORITY CLAIMED UNDER 35 U.S.C. 119
			YES _____ NO _____
			YES _____ NO _____

Con la presente nomino il seguente procuratore o procuratori, agente o agenti a curare l'inoltro della domanda e trattare tutte le pratiche ad essa inerenti dinanzi al Patent and Trademark Office (Ufficio Brevetti e Marchi di Fabbrica):

G.D. FLEISCHHAUER, 27.989, R.N.JAMES 22603, R.C. WALKER 27016

[POWER OF ATTORNEY: \_\_\_\_\_]

Rivolgersi per telefono a \_\_\_\_\_ GENE D. FLEISCHHAUER,  
al N. \_\_\_\_\_ 203-727-7189

[Address all telephone calls to \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ at telephone number \_\_\_\_\_]

Rivolgersi per iscritto a \_\_\_\_\_ GENE D. FLEISCHHAUER? Pat. Section, United Technologies  
Corporation, HARTFORD CT 06101

(Provide equivalent information in English between brackets.)

Patent & TM Office - U.S. COMM-D.C.

[Address all correspondence to \_\_\_\_\_]  
\_\_\_\_\_]

Io sottoscritto dichiaro che le affermazioni precedenti eseguiti con mia conoscenza personale sono veri, e sono in base ad informazioni assunte, sono reputate vere; e dichiaro altresì che ho reso tali dichiarazioni consapevoli delle pene pecuniarie comminate con o senza incarcerazione a chi volutamente rende dichiarazioni false o reticenti ai sensi dell'Art. 1001, Capitolo 18 del Codice degli Stati Uniti, conscio anche del fatto che affermazioni volutamente false possono compromettere la validità della domanda o di qualsiasi brevetto che ne risulti.

NOME E COGNOME DELL'UNICO O PRIMO INVENTORE RUSSEL A. SCHWARZMANN		FULL NAME OF SOLE OR FIRST INVENTOR	
FIRMA DELL'INVENTORE RUSSELL A. SCHWARZMANN	DATA 22.12.81	INVENTOR'S SIGNATURE	DATE
DOMICILIO MARLBOROUGH, Connecticut		RESIDENCE	
CITTADINANZA U.S.A.		CITIZENSHIP	
RECAPITO POSTALE 112 Hebron Road, Marlborough, Ct		POST OFFICE ADDRESS	
06424			
NOME E COGNOME DELL'EVENTUALE SECONDO CO-INVENTORE WILLIAM R. SEVCIK, JR.		FULL NAME OF SECOND JOINT INVENTOR, IF ANY	
FIRMA DELL'INVENTORE WILLIAM R. SEVCIK, JR.	DATA 22/12/81	INVENTOR'S SIGNATURE	DATE
DOMICILIO MANCHESTER? Connecticut		RESIDENCE	
CITTADINANZA U.S.A.		CITIZENSHIP	
RECAPITO POSTALE 30 Tower Road, Manchester,		POST OFFICE ADDRESS	
Connecticut 06040			

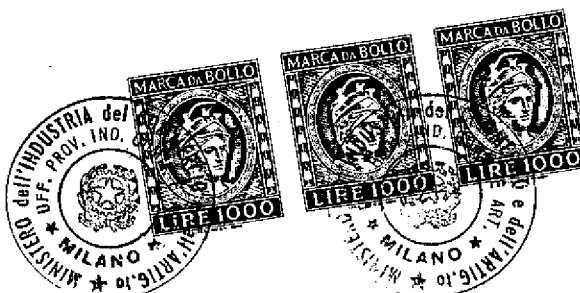
(In caso di tre o più inventori, fornire gli stessi estremi, muniti della firma dell'inventore.)

Seguono due tavole di disegni dell'invenzione.

Per traduzione conforme:

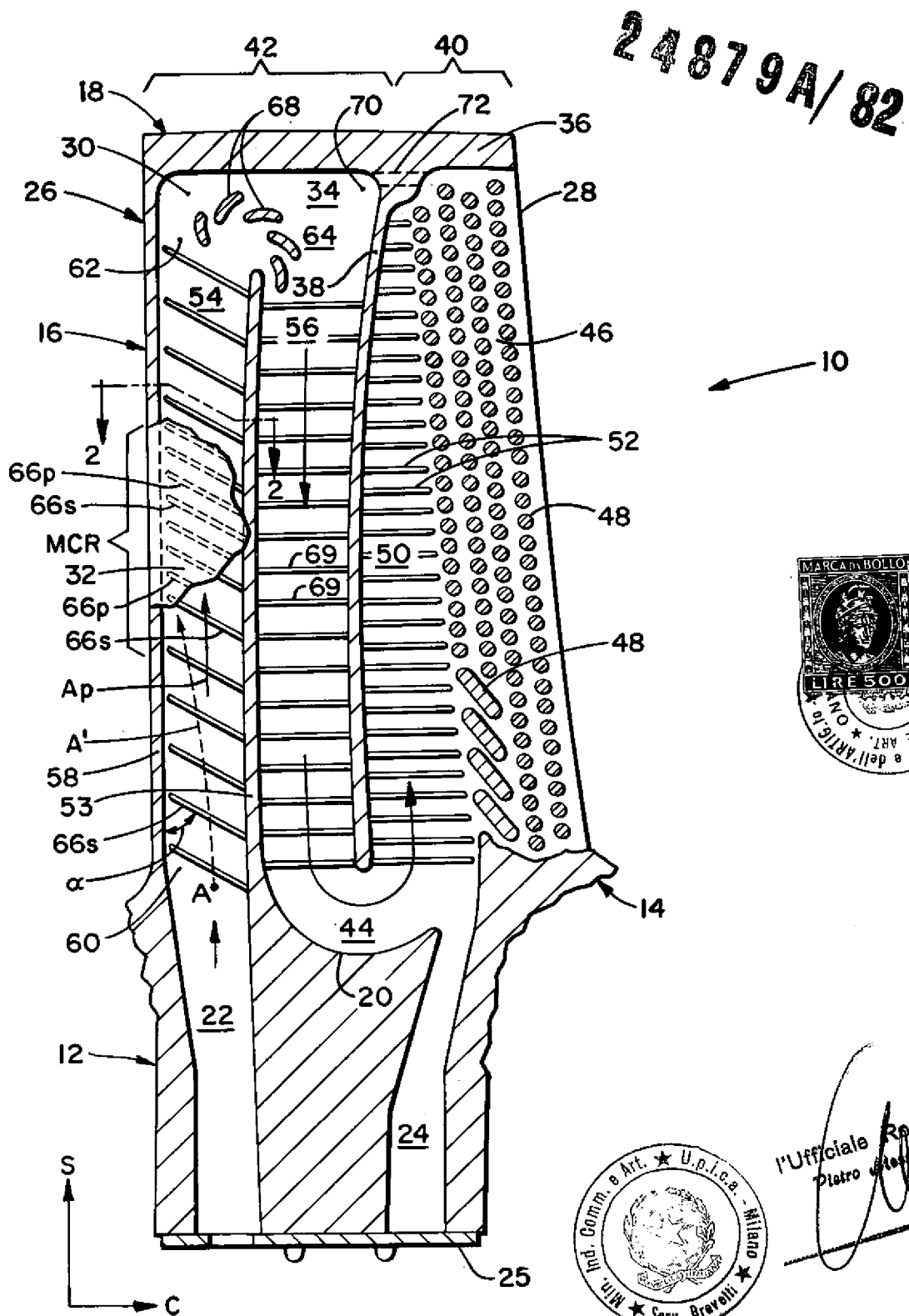
UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.

*[Handwritten signature]*



(Provide equivalent information in English between brackets.)





pp. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION  
Società dello Stato del Delaware

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.



Ufficiale Rappante  
Pietro Mazzoni

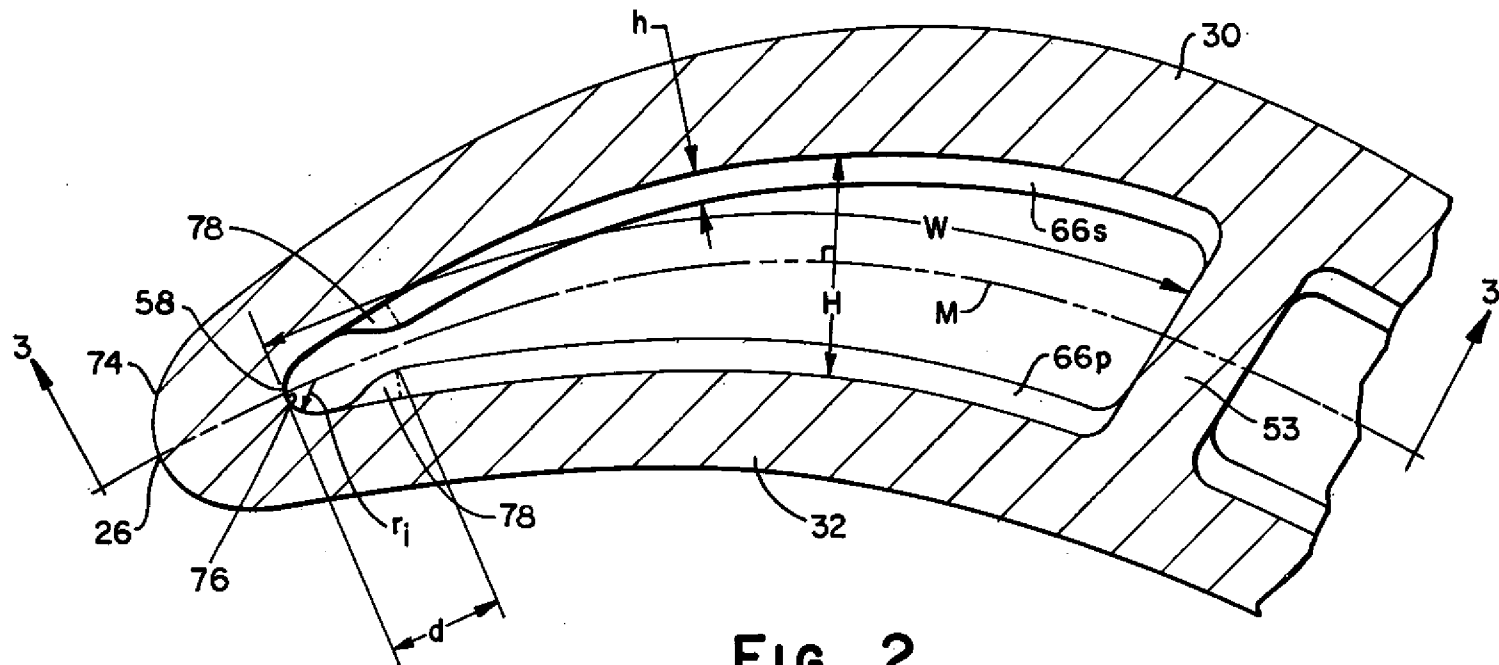


FIG. 2

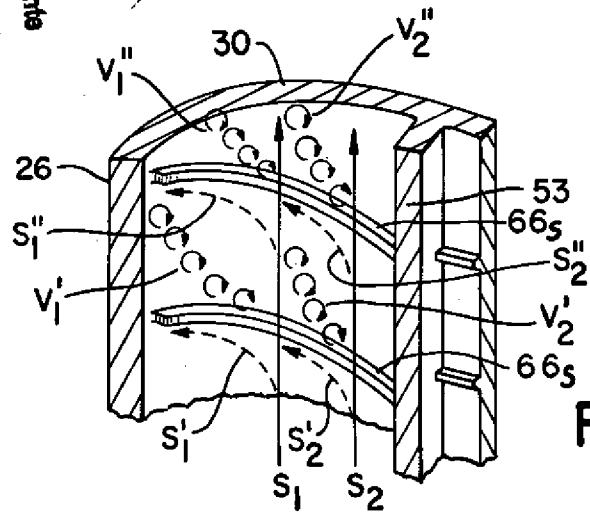
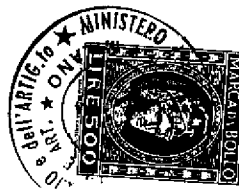


FIG. 3



pp. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION  
Società dello Stato del Delaware

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L.

*[Signature]*

248794/82