



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

UIBM

<b>DOMANDA NUMERO</b>	<b>101982900001251</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>21/12/1982</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>21/06/1984</b>

<b>Priorità</b>	334.618
<b>Nazione Priorità</b>	US
<b>Data Deposito Priorità</b>	28-DEC-81

**Titolo**

STRUTTURA DI RAFFREDDAMENTO PER ELEMENTI AERODINAMICI DI MACCHINE ROTATIVE

# DOCUMENTAZIONE RILEGATA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"STRUTTURA DI RAFFREDDAMENTO PER ELEMENTI AERODINAMICI DI  
MACCHINE ROTATIVE"

della: UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION

Società dello Stato del Delaware

a: HARTFORD, Connecticut (U.S.A.)

Inventore: Mark John Pazder

21 DIC. 1982

\*\*\*\*\*

24878A/82



**RIASSUNTO**

Viene presentato un elemento aerodinamico 16 raffreddabile per macchine rotative. L'elemento aerodinamico raffreddabile include una serie di passaggi di raffreddamento 56, 86, 88 e 114 che si estendono nella direzione dell'apertura alare. Una serie di passaggi curvi quali il passaggio curvo 82 ed il passaggio curvo 90 girano il flusso tra i passaggi che si estendono nel senso dell'apertura alare. Una pala 92 nel passaggio di rotazione 90 è distanziata da un deflettore 48 che si estende nel senso dell'apertura alare in modo da formare un subpassaggio 94 tra di essi a monte di una zona d'angolo 90c. Un'aletta 96 si estende tra la pala e la parete ed è angolata rispetto al flusso in arrivo. Una costruzione simile si trova nel passaggio curvo 82. In una forma particolare di realizzazione, la pala della turbina include un passaggio nel bordo di attacco che si estende nel senso dell'apertura alare collegato alla zona del bordo di uscita mediante un passaggio 58 nella punta che si estende nel senso della corda.

**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 Nº 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.

Il principale meccanismo interno di trasferimento del calore nei passaggi delle pale multipassata è costituito dal raffreddamento per convezione delle pareti contigue. Le zone di bassa velocità dell'aria di raffreddamento adiacente alle pareti che definiscono il passaggio, riducono i coefficienti di trasferimento di calore nel passaggio e possono provocare un eccesso di temperatura di queste parti dell'elemento aerodinamico. Il brevetto USA N° 4 180 373 dal titolo "Pala di turbina" utilizza un'alletta in una zona d'angolo di un passaggio curvo che sporge dalla parete nel passaggio per impedire il ristagno in corrispondenza dell'angolo formato dall'interazione delle pareti adiacenti.

Nonostante la tecnica suddetta, scienziati e tecnici cercano di sviluppare degli elementi aerodinamici raffreddabili da usarsi nelle turbine ad alta temperatura che utilizzino con efficacia l'aria di raffreddamento e che sopprimano la formazione di zone di aria di raffreddamento a bassa velocità nelle zone curve dell'elemento aerodinamico.

Secondo la presente invenzione, un elemento aerodinamico avente dei passaggi di raffreddamento multipassata ha una zona curva che si estende nel

senso della corda all'estremità di ogni passaggio, e un subpassaggio formato nell'ambito della zona curva per incanalare una parte del flusso su almeno un'aletta inclinata rispetto al flusso in arrivo nel subpassaggio e formante un angolo acuto con una parete che delimita il passaggio per sopprimere la separazione del flusso dalla parete che delimita il passaggio e bloccare la formazione di zone di flusso a bassa velocità.

Una caratteristica principale della presente invenzione è costituita da una serie di passaggi di raffreddamento che si estendono nel senso dell'apertura alare. Un'altra caratteristica è costituita dal passaggio curvo che si estende nel senso della corda in comunicazione fluidica con uno di detti passaggi. Il passaggio curvo che si estende nel senso della corda ha un subpassaggio ed almeno un'aletta inclinata rispetto al flusso in arrivo. In una forma di realizzazione, l'aletta si estende dall'estremità a valle della pala attraverso il subpassaggio verso la pala adiacente.

Un vantaggio principale della presente invenzione è costituito dal livello di sollecitazioni termiche nella pala che risulta dal raffreddamento nel passaggio curvo che include il raffreddamento delle zone d'angolo. Il raffreddamento efficace della zona d'angolo risulta dal subpassaggio e dall'aletta angolata che dirige il flusso in modo da bloccare la formazione di zone di flusso a bassa velocità e da sopprimere la separazione del flusso di raffreddamento dalle pareti del passaggio quando il flusso percorre la curva.

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 è una vista in elevazione laterale di una pala di girante

parzialmente in sezione e parzialmente asportata per mostrare la parete laterale di aspirazione dell'interno dell'elemento aerodinamico;

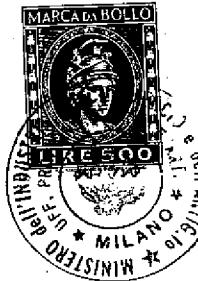
La figura 2 è una vista in sezione trasversale presa lungo le linee 2-2 della figura 1;

La figura 3 è una vista prospettica parziale di una regione d'angolo di un passaggio curvo nell'elemento aerodinamico; e

La figura 4 è un vista presa lungo le linee 4-4 della figura 3.

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

La sezione di radice 12 ha una parete di radice 22 che si estende nel senso della corda. Un primo condotto 24 è in comunicazione fluidica con una fonte di aria di raffreddamento quale un compressore (non mostrato). Un secondo condotto 26 è in comunicazione fluidica con la fonte dell'aria di raffreddamento ed un terzo condotto 28 si estende attraverso la sezione di radice. Nella forma di realizzazione mostrata, il terzo condotto non è in comunicazione fluidica con la fonte dell'aria di raffreddamento. Una piastra 32 si estende attraverso il terzo condotto e blocca la comunicazione con la fonte dell'aria di raffreddamento. In



una forma di realizzazione alternativa, il terzo condotto è in comunicazione fluidica con la fonte dell'aria di raffreddamento.

La sezione dell'elemento aerodinamico 16 ha un bordo di attacco 34 ed un bordo di uscita 36. Una parete laterale di aspirazione 38 ed una parete laterale di pressione 42 (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 è distanziata dalla parete laterale di aspirazione in modo da formare una cavità 44 tra le stesse.

Una parete di punta 46 si estende tra la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione per delimitare la cavità nella direzione nel senso dell'apertura alare. Un primo deflettore 48 si estende nel senso dell'apertura alare ed è distanziato dal bordo di attacco oltre ad estendersi nel senso della corda e ad essere distanziato dalla parete di punta. Il primo deflettore divide la cavità nell'elemento aerodinamico in una prima parte 52 e in una seconda parte quale la parte posteriore.

La prima parte 52 include un primo passaggio 56 che si estende nel senso dell'apertura alare lungo la regione del bordo di attacco ed un passaggio di punta 58 che si estende nel senso della corda lungo la parete di punta 46. Il primo passaggio ha una serie di prime alette 62s sulla parete laterale di aspirazione che delimita il primo passaggio ed una serie di seconde alette 62p sulla parete laterale di pressione del primo passaggio. La sporgenza di ciascuna delle seconde alette della parete laterale di pressione viene mostrata in linee tratteggiate sulla parete laterale di aspirazione. Una serie di fori di raffreddamento 64 si estende attraverso il bordo di attacco per mettere in comunicazione fluidica il primo passaggio con il percorso del flusso dei gas di lavoro. I fori dell'aria di

raffreddamento sono inclinati e formano un angolo ottuso rispetto al flusso in arrivo nel primo passaggio e rispetto al bordo di attacco 34 che si estende nel senso dell'apertura alare. Una serie di prime alette 66s e 66p nel passaggio di punta si estende sulla parete laterale di aspirazione e sulla parete laterale di pressione in modo simile alla serie di alette 62 del primo passaggio. Il passaggio di punta ha una serie di fori di raffreddamento a velo 68 distribuiti verso l'interno rispetto alla parete di punta sulla parete laterale di pressione della parete di punta. Questi fori di raffreddamento ed un foro 72 nel passaggio di punta mettono in comunicazione fluidica il passaggio di punta con il percorso del flusso del mezzo di lavoro.

La parte posteriore dell'elemento aerodinamico ha un secondo deflettore 74 che si estende nel senso dell'apertura alare dal primo deflettore in modo da dividere la parte posteriore dell'elemento aerodinamico in una regione di bordo di uscita 76 e in una regione di corda media 78. Un passaggio curvo che si estende nel senso della corda 82 mette in comunicazione fluidica la regione del bordo di uscita con la regione della corda media. Un terzo deflettore 84 si estende nel senso dell'apertura alare per dividere la regione della corda media in un secondo passaggio 86 e in un terzo passaggio 88. Il secondo passaggio ha una serie di prime alette 90s sulla parete laterale di aspirazione del passaggio ed una serie di seconde alette 90p sulla parete laterale di pressione dell'elemento aerodinamico. Un passaggio curvo 91 che si estende nel senso della corda mette in comunicazione fluidica il secondo passaggio con il terzo passaggio. Il passaggio che si estende nel senso della corda ha una zona d'angolo 91c. Una pala 92 si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione ed è distanziata dal primo deflettore 48 lasciando un subpassaggio 94 tra di essi.

Almeno un'aletta angolata si estende lungo la parete laterale di aspirazione attraverso il subpassaggio dall'estremità a valle della pala alla parete. L'aletta angolata è inclinata verso il flusso in arrivo e forma un angolo acuto rispetto al primo deflettore. La pala 92 ed il subpassaggio 94 sono disposti nel passaggio curvo a monte della zona d'angolo. Una serie di pale ruotanti 98 si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione per guidare il flusso dal primo passaggio nel secondo passaggio. Una serie di alette 100p e 100s è disposta nel secondo passaggio.

Il primo passaggio curvo 82 ha una zona d'angolo 102. Il passaggio curvo ha una pala 104 a monte della zona d'angolo e distanziata dal secondo deflettore 74 lasciando un subpassaggio 106 tra di essi. Un'aletta 108 si estende dalla pala al deflettore. L'aletta è inclinata verso il flusso in arrivo e forma un angolo acuto rispetto al deflettore 74. L'angolo tra l'aletta ed il deflettore è di circa 45°. Si ritiene che le alette aventi un angolo compreso tra 15 e 60 gradi si rivelino efficaci a seconda della velocità del flusso nel passaggio e dell'altezza delle alette.

La regione del bordo di uscita 76 è in comunicazione fluidica con il percorso del flusso del mezzo di lavoro attraverso una serie di piedestalli distanziati 112. Ogni piedestallo si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione per bloccare localmente il flusso e, con il secondo deflettore 74, per definire un passaggio che si estende nel senso dell'apertura alare 114 per l'aria di raffreddamento. Il passaggio include una zona d'angolo 118 adiacente al primo deflettore 48 ed al secondo deflettore 74 nella zona in cui il passaggio scarica il proprio flusso attraverso i piedestalli al percorso di flusso del mezzo di lavoro. Una serie di alette 122 è inclinata verso il flusso in arrivo lungo

il deflettore nella zona del bordo di uscita e nella zona d'angolo. Le alette includono una prima serie di alette 122s sulla parete laterale di aspirazione ed una seconda serie di alette 122p sulla parete laterale di pressione.

La figura 2 è una vista in sezione trasversale presa lungo le linee 2-2 della figura 1 e mostra la parete laterale di aspirazione 38 e la parete laterale di pressione 42 della sezione dell'elemento aerodinamico. Le alette 62p e 62s vengono mostrate estendentesi rispettivamente dalla parete laterale di pressione e dalla parete laterale di aspirazione come la serie di alette 91p e 91s nonché 100p e 100s. La pala 104 si estende tra la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione per formare il passaggio 106 tra la pala ed il deflettore 74. L'aletta angolata 108 si estende tra la pala ed il deflettore.

La figura 3 è una vista prospettica parziale della zona d'angolo 91c della figura 1. La figura 4 è una vista in sezione presa lungo le linee 4-4 della figura 3. La pala 92 è distanziata dal deflettore adiacente 48 lasciando tra di essi il subpassaggio 94. L'aletta angolata sulla parete laterale di aspirazione si estende dall'estremità a valle della pala al deflettore ed è inclinata verso il flusso in arrivo che viene incanalato verso l'aletta dalla pala. Una corrispondente aletta angolata 96p si estende sulla parete laterale di pressione tra la pala ed il deflettore 48. Un'aletta verticale 96v sul deflettore 48 collega le alette 96s all'aletta 96p.

Durante il funzionamento della macchina rotativa, i gas di lavoro caldi vengono fatti fluire sulla superficie esterna della sezione 16 dell'elemento aerodinamico. Il calore viene trasferito dai gas alla parete laterale di aspirazione 38 ed alla parete laterale di pressione 42. L'aria di raffreddamento viene fatta fluire dal primo canale 24 attraverso il primo passaggio 56 ed attraverso il

passaggio di punta 58 per ridurre la temperatura della pala. Quando il flusso dell'aria di raffreddamento passa sulle alette 62s, 62p e sulle alette 66s, 66p, le alette provocano dei vortici nel flusso e una turbolenza nel confine che aumenta il trasferimento per convezione del calore tra le pareti e l'aria di raffreddamento. Oltre a questo raffreddamento per convezione nel primo passaggio e nel passaggio di punta, il raffreddamento a velo viene fornito dall'aria di raffreddamento che fluisce attraverso i fori di raffreddamento 64 nella zona del bordo di attacco. I fori del raffreddamento a velo formano un angolo ottuso con il bordo di attacco e con il flusso in arrivo nel passaggio dell'aria di raffreddamento. Ciascuno dei getti angolati di aria di raffreddamento ha una componente di velocità nella direzione nel senso dell'apertura alare lungo il bordo di attacco. A causa della componente di velocità nel senso dell'apertura alare, il raffreddamento si diffonde su di un'area maggiore di quanto non avvenga con i getti d'aria che non hanno una componente di velocità nel senso dell'apertura alare. L'aria di raffreddamento viene scaricata dal passaggio di punta attraverso i fori dell'aria di raffreddamento 68 nella parete laterale di pressione per il raffreddamento a velo della zona della punta. Poiché la pressione statica nel percorso di flusso del mezzo di lavoro è superiore sulla parete laterale di pressione rispetto alla pressione statica sulla parete laterale di aspirazione, si ritiene che l'aria di raffreddamento dai fori 68 si diffonda sulla punta dell'elemento aerodinamico fornendo il raffreddamento a velo della parte posteriore della punta dell'elemento aerodinamico. La parte restante dell'aria di raffreddamento viene scaricata attraverso il foro 72 nella zona del bordo di uscita della pala. Occasionalmente, uno o più dei fori di raffreddamento 64 nella zona del bordo anteriore 34 vengono otturati da materiale in particelle quando



questo materiale passa attraverso il motore e colpisce la pala. I fori otturati non lasciano passare l'aria di raffreddamento. I fori 68 e 72 fanno passare questa ulteriore quantità d'aria per garantire che venga fornita una quantità adeguata di raffreddamento per convezione nel primo passaggio e nel passaggio di punta.

L'aria di raffreddamento viene fatta fluire dal secondo condotto 26 attraverso il secondo passaggio 86 al passaggio curvo che si estende nel senso della corda 91. La pala 92 a monte della zona d'angolo 91c nel passaggio curvo forma un subpassaggio 94 nel passaggio curvo per incanalare una parte dell'aria di raffreddamento sulle alette 96p, 96s, e 96v nella zona d'angolo 91c del passaggio 90 che si estende nel senso della corda. Le alette 96s e 96p che si estendono attraverso il subpassaggio sono angolate rispetto alla parete ed alla pala e sono angolate verso il flusso in arrivo. Queste due alette (superficie di aspirazione e superficie di pressione) hanno un'altezza complessiva tra le due alette che è il 15% dell'altezza del passaggio.

Come mostrato nella figura 3, la pala 92 aumenta il flusso di aria di raffreddamento all'aletta, aumentando la quantità e la velocità dei vortici che sono provocati dalle alette. Ogni vortice ha una componente di velocità verso il deflettore. I vortici si spostano nella zona d'angolo. I vortici nella zona d'angolo aumentano il ritmo di trasferimento di calore nella zona in virtù della turbolenza da essi provocata ed aumentano la quantità di flusso nella zona in virtù della loro componente di velocità nel senso della corda che è opposta come direzione al flusso curvo. Oltre ai vortici, le alette fanno sì che una parte del flusso nel subpassaggio a monte delle alette venga deviata verso il deflettore come mostrato dalle due linee di flusso nella zona dell'aletta.

La zona angolare 102 ha in modo simile una pala 104 che forma un

subpassaggio 106 ed un'aletta 108 che provoca dei vortici a valle del subpassaggio e che devia una parte del flusso verso il secondo deflettore per sopprimere la separazione del flusso dal lato del deflettore quando il flusso entra nella zona del bordo di uscita. La singola aletta 108 nella zona d'angolo 102 che si estende attraverso il subpassaggio 106, si estende per un'altezza di circa il 15% dell'altezza totale del subpassaggio 106. Il processo si ripete nella zona d'angolo 118 a causa della serie di alette angolate lungo l'intero passaggio 114. Quando l'aria di raffreddamento si sposta lungo il passaggio, una parte del flusso viene scaricata attraverso i piedestalli distanziati 112. L'azione di svolta del flusso dal deflettore attraverso i piedestalli 112 tende a provocare la separazione del flusso dal deflettore. Le alette 122s, 122p sono inclinate verso il flusso in arrivo di aria di raffreddamento ed angolate rispetto al deflettore 74 in modo da formare dei vortici e da deviare il flusso verso la parete del deflettore lungo tutta la lunghezza del passaggio. La velocità del flusso verso il deflettore e la quantità di flusso lungo il deflettore sopprimono la separazione del flusso dal deflettore e pertanto consentono un raffreddamento soddisfacente della zona del deflettore. Le alette angolate consentono inoltre un adeguato raffreddamento della zona d'angolo 118 a causa dell'aumento del momento del flusso lungo il deflettore che fa sì che il flusso dell'aria di raffreddamento venga portato nella zona d'angolo dove l'aria raffredda tale zona. Dopo che il flusso è passato attraverso la zona d'angolo, viene scaricato nel percorso di flusso del mezzo di lavoro attraverso la zona del bordo di uscita della pala.

Sebbene l'invenzione sia stata mostrata e descritta con riferimento a delle sue forme di realizzazione preferite, è chiaro per gli esperti della tecnica che si possono effettuare diversi cambiamenti ed omissioni nella sua forma e nei suoi

dettagli senza scostarsi dallo spirito e dallo scopo dell'invenzione.

### RIVENDICAZIONI

1. Elemento aerodinamico raffreddabile di tipo a passate multiple avente delle pareti interne che si estendono tra la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione dell'elemento aerodinamico per separare un passaggio internamente all'elemento aerodinamico, e che include un passaggio che si estende nel senso della corda per far girare il flusso di raffreddamento rispetto a detti passaggi, detto passaggio che si estende nel senso della corda essendo limitato da una di dette pareti interne, caratterizzato dal perfezionamento che comprende: una pala che si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione, la pala essendo distanziata da detta prima parete lasciando un subpassaggio tra di esse, e almeno un'aletta in detto passaggio che si estende nel senso della corda, la quale è inclinata verso il flusso in arrivo dell'aria di raffreddamento per sopprimere la separazione del flusso da detta parete interna e che si estende ad angolo acuto dalla parete alla pala per deviare una parte del flusso nel subpassaggio contro la parete e provocare una turbolenza nello strato limite adiacente a detta parete.

2. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'aletta inclinata è una prima aletta inclinata che si estende sulla parete laterale di aspirazione attraverso il subpassaggio dalla pala alla parete e dal fatto che una seconda aletta inclinata si estende sulla parete laterale di pressione attraverso il subpassaggio dalla pala alla parete.

3. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto di avere inoltre una terza aletta che si estende su detta prima parete dalla prima aletta inclinata verso la seconda aletta inclinata.

4. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che il passaggio ha un'altezza  $h$  e l'altezza del passaggio è ridotta di circa il 15% nell'ubicazione dell'aletta sulla parete laterale di aspirazione.

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

una sezione di radice che adatta la pala della girante in modo da impegnare 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 di radice con una fonte di aria di raffreddamento, un secondo condotto atto ad essere in comunicazione fluidica con una fonte di aria di raffreddamento, ed un terzo 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 nella direzione della corda tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione,

un primo deflettore che si estende nella direzione dell'apertura alare ed è distanziato dal bordo di attacco e che si estende nella direzione della

corda ed è distanziato dalla parete della punta per dividere la cavità in una parte posteriore, una parte anteriore avente un primo passaggio e una parte di punta avente un passaggio di punta in comunicazione fluidica con il primo passaggio,

un secondo deflettore che si estende nella direzione dell'apertura alare dal primo deflettore per dividere la parte posteriore della cavità in una zona di bordo di uscita e in una zona di corda media e che è distanziato dalla parete di radice nella sezione di radice lasciando un primo passaggio curvo che si estende nel senso della corda tra di essi,

un terzo deflettore che si estende nella direzione dell'apertura alare per dividere la zona della corda media della pala in un secondo passaggio che si estende verso l'esterno dalla zona di radice verso la parte che si estende nel senso della corda del primo deflettore, ed un terzo passaggio che si estende verso l'interno dalla parte che si estende nel senso della corda del primo deflettore, il terzo deflettore essendo distanziato dalla parte che si estende nel senso della corda del primo deflettore lasciando un secondo passaggio curvo che si estende nel senso della corda tra di essi,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio è in comunicazione fluidica con il primo condotto, in cui il primo passaggio ha una serie di alette che si estendono attraverso il primo passaggio perpendicolari alla direzione di flusso, ed il bordo di attacco ha una serie di fori per il raffreddamento a velo che si estendono attraverso il bordo e che sono angolati in modo da formare un angolo ottuso rispetto al flusso in arrivo e che pone il primo passaggio in comunicazione fluidica con il percorso del flusso del mezzo di lavoro,

caratterizzata dal fatto che una seconda serie di alette si estende



attraverso il passaggio di punta sulla parete laterale di aspirazione e sulla parete laterale di pressione perpendicolarmente al flusso,

una serie di fori nella parete laterale di pressione ed un foro nella zona del bordo di uscita mettono in comunicazione fluidica il passaggio di punta con il percorso del flusso del mezzo di lavoro,

caratterizzata dal fatto che il secondo passaggio è in comunicazione fluidica con il secondo condotto ed ha una serie di alette perpendicolari alla direzione di flusso,

caratterizzata dal fatto che il secondo passaggio curvo si estende tra il secondo passaggio ed il terzo passaggio, il passaggio curvo avendo una serie di pale curve per far girare il flusso, ed una pala che si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione, la pala essendo distanziata dal primo deflettore lasciando un subpassaggio tra di essi ed inoltre avendo almeno un'aletta angolata che si estende su una di dette pareti laterali attraverso il subpassaggio dalla pala al primo deflettore,

caratterizzata dal fatto che il terzo passaggio ha una serie di alette che si estendono attraverso il passaggio perpendicolarmente al flusso in arrivo,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio curvo si estende tra il terzo passaggio e la zona del bordo di uscita della pala per mettere in comunicazione fluidica la zona del bordo di uscita della pala con il terzo passaggio,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio curvo ha una pala che si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione, la pala essendo distanziata da detto secondo deflettore lasciando un subpassaggio tra di essi, ed ha almeno un'aletta angolata che si estende su una di dette pareti laterali attraverso il subpassaggio dalla pala al terzo deflettore ed è inclinata

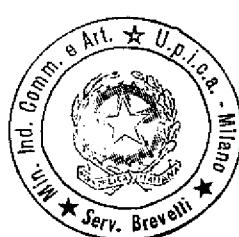
verso il flusso in avvicinamento e,

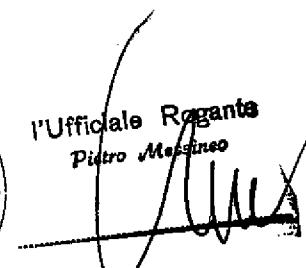
caratterizzata dal fatto che la zona del bordo posteriore della pala ha una serie di piedestalli aventi degli spazi tra di essi che si estendono tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione per provvedere allo scarico dell'aria di raffreddamento dalla pala della girante, la serie di piedestalli essendo distanziata da un secondo deflettore per definire un passaggio per l'aria di raffreddamento nella parte posteriore della pala, il passaggio avendo una serie di alette inclinate verso il flusso in arrivo e che formano un angolo acuto rispetto al secondo deflettore.

p.p. United Technologies Corporation

Società dello Stato del Delaware

UFFICIO BREVETTI  
RICCARDI & CO. S.R.L



  
l'Ufficiale Rogante  
Pietro Messineo



Numero di serie: 334.618

Esaminatore assistente: STINSON

Classe 16 ; Sottoclassificazione 97 ; Gruppo 243 ;

Data di deposito: 28/12/82

Richiedente: Mark J. PAZDER, SOUTH WINDSOR, CT.



**Titolo dell'invenzione:** "STRUTTURA DI RAFFREDDAMENTO PER ELEMENTI AERODINAMICI  
DI MACCHINE ROTATIVE

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

**Principale procuratore:**

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

F.to C.W. SMITH

Ufficiale Certificante

**Data:** 20 SETTEMBRE 1982

## DESCRIZIONE

### "STRUTTURA DI RAFFREDDAMENTO PER ELEMENTI AERODINAMICI DI MACCHINE ROTATIVE"

#### **Settore 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, è 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.

Il principale meccanismo interno di trasferimento del calore nei passaggi delle pale multipassata è costituito dal raffreddamento per convezione delle pareti contigue. Le zone di bassa velocità dell'aria di raffreddamento adiacente alle pareti che definiscono il passaggio, riducono i coefficienti di trasferimento di calore nel passaggio e possono provocare un eccesso di temperatura di queste parti dell'elemento aerodinamico. Il brevetto USA N° 4 180 373 dal titolo "Pala di turbina" utilizza un'alemma in una zona d'angolo di un passaggio curvo che sorge dalla parete nel passaggio per impedire il ristagno in corrispondenza

dell'angolo formato dall'interazione delle pareti adiacenti.

Nonostante la tecnica suddetta, scienziati e tecnici cercano di sviluppare degli elementi aerodinamici raffreddabili da usarsi nelle turbine ad alta temperatura che utilizzino con efficacia l'aria di raffreddamento e che sopprimano la formazione di zone di aria di raffreddamento a bassa velocità nelle zone curve dell'elemento aerodinamico.

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

Secondo la presente invenzione, un elemento aerodinamico avente dei passaggi di raffreddamento multipassata ha una zona curva che si estende nel senso della corda all'estremità di ogni passaggio, e un subpassaggio formato nell'ambito della zona curva per incanalare una parte del flusso su almeno un'aletta inclinata rispetto al flusso in arrivo nel subpassaggio e formante un angolo acuto con una parete che delimita il passaggio per sopprimere la separazione del flusso dalla parete che delimita il passaggio e bloccare la formazione di zone di flusso a bassa velocità.

Una caratteristica principale della presente invenzione è costituita da una serie di passaggi di raffreddamento che si estendono nel senso dell'apertura alare. Un'altra caratteristica è costituita dal passaggio curvo che si estende nel senso della corda in comunicazione fluidica con uno di detti passaggi. Il passaggio curvo che si estende nel senso della corda ha un subpassaggio ed almeno un'aletta inclinata rispetto al flusso in arrivo. In una forma di realizzazione, l'aletta si estende dall'estremità a valle della pala attraverso il subpassaggio verso la pala adiacente.

Un vantaggio principale della presente invenzione è costituito dal livello di sollecitazioni termiche nella pala che risulta dal raffreddamento nel passaggio



curvo che include il raffreddamento delle zone d'angolo. Il raffreddamento efficace della zona d'angolo risulta dal subpassaggio e dall'aletta angolata che dirige il flusso in modo da bloccare la formazione di zone di flusso a bassa velocità e da sopprimere la separazione del flusso di raffreddamento dalle pareti del passaggio quando il flusso percorre la curva.

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 in elevazione laterale di una pala di girante parzialmente in sezione e parzialmente asportata per mostrare la parete laterale di aspirazione dell'interno dell'elemento aerodinamico;

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

La figura 3 é una vista prospettica parziale di una regione d'angolo di un passaggio curvo nell'elemento aerodinamico; e

La figura 4 é un vista presa lungo le linee 4-4 della figura 3.

#### **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 a radice 12, una sezione a piattaforma 14 ed una sezione ad 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 dei mezzi di lavoro costituiti dai gas in una macchina rotativa. La sezione di elemento aerodinamico é atta ad estendersi verso l'esterno attraverso il percorso del flusso dei mezzi di lavoro

direzione di riferimento nel senso della corda C.

La sezione di radice 12 ha una parete di radice 22 che si estende nel senso della corda. Un primo condotto 24 è in comunicazione fluidica con una fonte di aria di raffreddamento quale un compressore (non mostrato). Un secondo condotto 26 è in comunicazione fluidica con la fonte dell'aria di raffreddamento ed un terzo condotto 28 si estende attraverso la sezione di radice. Nella forma di realizzazione mostrata, il terzo condotto non è in comunicazione fluidica con la fonte dell'aria di raffreddamento. Una piastra 32 si estende attraverso il terzo condotto e blocca la comunicazione con la fonte dell'aria di raffreddamento. In una forma di realizzazione alternativa, il terzo condotto è in comunicazione fluidica con la fonte dell'aria di raffreddamento.

La sezione dell'elemento aerodinamico 16 ha un bordo di attacco 34 ed un bordo di uscita 36. Una parete laterale di aspirazione 38 ed una parete laterale di pressione 42 (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 è distanziata dalla parete laterale di aspirazione in modo da formare una cavità 44 tra le stesse.

Una parete di punta 46 si estende tra la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione per delimitare la cavità nella direzione nel senso dell'apertura alare. Un primo deflettore 48 si estende nel senso dell'apertura alare ed è distanziato dal bordo di attacco oltre ad estendersi nel senso della corda e ad essere distanziato dalla parete di punta. Il primo deflettore divide la cavità nell'elemento aerodinamico in una prima parte 52 e in una seconda parte

quale la parte posteriore.

La prima parte 52 include un primo passaggio 56 che si estende nel senso dell'apertura alare lungo la regione del bordo di attacco ed un passaggio di punta 58 che si estende nel senso della corda lungo la parete di punta 46. Il primo passaggio ha una serie di prime alette 62s sulla parete laterale di aspirazione che delimita il primo passaggio ed una serie di seconde alette 62p sulla parete laterale di pressione del primo passaggio. La sporgenza di ciascuna delle seconde alette della parete laterale di pressione viene mostrata in linee tratteggiate sulla parete laterale di aspirazione. Una serie di fori di raffreddamento 64 si estende attraverso il bordo di attacco per mettere in comunicazione fluidica il primo passaggio con il percorso del flusso dei gas di lavoro. I fori dell'aria di raffreddamento sono inclinati e formano un angolo ottuso rispetto al flusso in arrivo nel primo passaggio e rispetto al bordo di attacco 34 che si estende nel senso dell'apertura alare. Una serie di prime alette 66s e 66p nel passaggio di punta si estende sulla parete laterale di aspirazione e sulla parete laterale di pressione in modo simile alla serie di alette 62 del primo passaggio. Il passaggio di punta ha una serie di fori di raffreddamento a velo 68 distribuiti verso l'interno rispetto alla parete di punta sulla parete laterale di pressione della parete di punta. Questi fori di raffreddamento ed un foro 72 nel passaggio di punta mettono in comunicazione fluidica il passaggio di punta con il percorso del flusso del mezzo di lavoro.

La parte posteriore dell'elemento aerodinamico ha un secondo deflettore 74 che si estende nel senso dell'apertura alare dal primo deflettore in modo da dividere la parte posteriore dell'elemento aerodinamico in una regione di bordo di uscita 76 e in una regione di corda media 78. Un passaggio curvo che si estende

nel senso della corda 82 mette in comunicazione fluidica la regione del brdo di uscita con la regione della corda media. Un terzo deflettore 84 si estende nel senso dell'apertura alare per dividere la regione della corda media in un secondo passaggio 86 e in un terzo passaggio 88. Il secondo passaggio ha una serie di prime alette 90s sulla parete laterale di aspirazione del passaggio ed una serie di seconde alette 90p sulla parete laterale di pressione dell'elemento aerodinamico. Un passaggio curvo 91 che si estende nel senso della corda mette in comunicazione fluidica il secondo passaggio con il terzo passaggio. Il passaggio che si estende nel senso della corda ha una zona d'angolo 91c. Una pala 92 si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione ed è distanziata dal primo deflettore 48 lasciando un subpassaggio 94 tra di essi. Almeno un'aletta angolata si estende lungo la parete laterale di aspirazione attraverso il subpassaggio dall'estremità a valle della pala alla parete. L'aletta angolata è inclinata verso il flusso in arrivo e forma un angolo acuto rispetto al primo deflettore. La pala 92 ed il subpassaggio 94 sono disposti nel passaggio curvo a monte della zona d'angolo. Una serie di pale ruotanti 98 si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione per guidare il flusso dal primo passaggio nel secondo passaggio. Una serie di alette 100p e 100s è disposta nel secondo passaggio.

Il primo passaggio curvo 82 ha una zona d'angolo 102. Il passaggio curvo ha una pala 104 a monte della zona d'angolo e distanziata dal secondo deflettore 74 lasciando un subpassaggio 106 tra di essi. Un'aletta 108 si estende dalla pala al deflettore. L'aletta è inclinata verso il flusso in arrivo e forma un angolo acuto rispetto al deflettore 74. L'angolo tra l'aletta ed il deflettore è di circa 45°. Si ritiene che le alette aventi un angolo compreso tra 15 e 60 gradi si rivelino

efficaci a seconda della velocità del flusso nel passaggio e dell'altezza delle alette.

La regione del bordo di uscita 76 è in comunicazione fluidica con il percorso del flusso del mezzo di lavoro attraverso una serie di piedestalli distanziati 112. Ogni piedestallo si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione per bloccare localmente il flusso e, con il secondo deflettore 74, per definire un passaggio che si estende nel senso dell'apertura alare 114 per l'aria di raffreddamento. Il passaggio include una zona d'angolo 118 adiacente al primo deflettore 48 ed al secondo deflettore 74 nella zona in cui il passaggio scarica il proprio flusso attraverso i piedestalli al percorso di flusso del mezzo di lavoro. Una serie di alette 122 è inclinata verso il flusso in arrivo lungo il deflettore nella zona del bordo di uscita e nella zona d'angolo. Le alette includono una prima serie di alette 122s sulla parete laterale di aspirazione ed una seconda serie di alette 122p sulla parete laterale di pressione.

La figura 2 è una vista in sezione trasversale presa lungo le linee 2-2 della figura 1 e mostra la parete laterale di aspirazione 38 e la parete laterale di pressione 42 della sezione dell'elemento aerodinamico. Le alette 62p e 62s vengono mostrate estendendosi rispettivamente dalla parete laterale di pressione e dalla parete laterale di aspirazione come la serie di alette 91p e 91s nonché 100p e 100s. La pala 104 si estende tra la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione per formare il passaggio 106 tra la pala ed il deflettore 74. L'aletta angolata 108 si estende tra la pala ed il deflettore.

La figura 3 è una vista prospettica parziale della zona d'angolo 91c della figura 1. La figura 4 è una vista in sezione presa lungo le linee 4-4 della figura 3. La pala 92 è distanziata dal deflettore adiacente 48 lasciando tra di essi il



subpassaggio 94. L'aletta angolata sulla parete laterale di aspirazione si estende dall'estremità a valle della pala al deflettore ed è inclinata verso il flusso in arrivo che viene incanalato verso l'aletta dalla pala. Una corrispondente aletta angolata 96p si estende sulla parete laterale di pressione tra la pala ed il deflettore 48. Un'aletta verticale 96v sul deflettore 48 collega le alette 96s all'aletta 96p.

Durante il funzionamento della macchina rotativa, i gas di lavoro caldi vengono fatti fluire sulla superficie esterna della sezione 16 dell'elemento aerodinamico. Il calore viene trasferito dai gas alla parete laterale di aspirazione 38 ed alla parete laterale di pressione 42. L'aria di raffreddamento viene fatta fluire dal primo canale 24 attraverso il primo passaggio 56 ed attraverso il passaggio di punta 58 per ridurre la temperatura della pala. Quando il flusso dell'aria di raffreddamento passa sulle alette 62s, 62p e sulle alette 66s, 66p, le alette provocano dei vortici nel flusso e una turbolenza nel confine che aumenta il trasferimento per convezione del calore tra le pareti e l'aria di raffreddamento. Oltre a questo raffreddamento per convezione nel primo passaggio e nel passaggio di punta, il raffreddamento a velo viene fornito dall'aria di raffreddamento che fluisce attraverso i fori di raffreddamento 64 nella zona del bordo di attacco. I fori del raffreddamento a velo formano un angolo ottuso con il bordo di attacco e con il flusso in arrivo nel passaggio dell'aria di raffreddamento. Ciascuno dei getti angolati di aria di raffreddamento ha una componente di velocità nella direzione nel senso dell'apertura alare lungo il bordo di attacco. A causa della componente di velocità nel senso dell'apertura alare, il raffreddamento si diffonde su di un'area maggiore di quanto non avvenga con i getti d'aria che non hanno una componente di velocità nel senso

dell'apertura alare. L'aria di raffreddamento viene scaricata dal passaggio di punta attraverso i fori dell'aria di raffreddamento 68 nella parete laterale di pressione per il raffreddamento a velo della zona della punta. Poiché la pressione statica nel percorso di flusso del mezzo di lavoro è superiore sulla parete laterale di pressione rispetto alla pressione statica sulla parete laterale di aspirazione, si ritiene che l'aria di raffreddamento dai fori 68 si diffonda sulla punta dell'elemento aerodinamico fornendo il raffreddamento a velo della parte posteriore della punta dell'elemento aerodinamico. La parte restante dell'aria di raffreddamento viene scaricata attraverso il foro 72 nella zona del bordo di uscita della pala. Occasionalmente, uno o più dei fori di raffreddamento 64 nella zona del bordo anteriore 34 vengono otturati da materiale in particelle quando questo materiale passa attraverso il motore e colpisce la pala. I fori otturati non lasciano passare l'aria di raffreddamento. I fori 68 e 72 fanno passare questa ulteriore quantità d'aria per garantire che venga fornita una quantità adeguata di raffreddamento per convezione nel primo passaggio e nel passaggio di punta.

L'aria di raffreddamento viene fatta fluire dal secondo condotto 26 attraverso il secondo passaggio 86 al passaggio curvo che si estende nel senso della corda 91. La pala 92 a monte della zona d'angolo 91c nel passaggio curvo forma un subpassaggio 94 nel passaggio curvo per incanalare una parte dell'aria di raffreddamento sulle alette 96p, 96s, e 96v nella zona d'angolo 91c del passaggio 90 che si estende nel senso della corda. Le alette 96s e 96p che si estendono attraverso il subpassaggio sono angolate rispetto alla parete ed alla pala e sono angolate verso il flusso in arrivo. Queste due alette (superficie di aspirazione e superficie di pressione) hanno un'altezza complessiva tra le due alette che è il 15% dell'altezza del passaggio.

Come mostrato nella figura 3, la pala 92 aumenta il flusso di aria di raffreddamento all'aletta, aumentando la quantità e la velocità dei vortici che sono provocati dalle alette. Ogni vortice ha una componente di velocità verso il deflettore. I vortici si spostano nella zona d'angolo. I vortici nella zona d'angolo aumentano il ritmo di trasferimento di calore nella zona in virtù della turbolenza da essi provocata ed aumentano la quantità di flusso nella zona in virtù della loro componente di velocità nel senso della corda che è opposta come direzione al flusso curvo. Oltre ai vortici, le alette fanno sì che una parte del flusso nel subpassaggio a monte delle alette venga deviata verso il deflettore come mostrato dalle due linee di flusso nella zona dell'aletta.

La zona angolare 102 ha in modo simile una pala 104 che forma un subpassaggio 106 ed un'aletta 108 che provoca dei vortici a valle del subpassaggio e che devia una parte del flusso verso il secondo deflettore per sopprimere la separazione del flusso dal lato del deflettore quando il flusso entra nella zona del bordo di uscita. La singola aletta 108 nella zona d'angolo 102 che si estende attraverso il subpassaggio 106, si estende per un'altezza di circa il 15% dell'altezza totale del subpassaggio 106. Il processo si ripete nella zona d'angolo 118 a causa della serie di alette angolate lungo l'intero passaggio 114. Quando l'aria di raffreddamento si sposta lungo il passaggio, una parte del flusso viene scaricata attraverso i piedestalli distanziati 112. L'azione di svolta del flusso dal deflettore attraverso i piedestalli 112 tende a provocare la separazione del flusso dal deflettore. Le alette 122s, 122p sono inclinate verso il flusso in arrivo di aria di raffreddamento ed angolate rispetto al deflettore 74 in modo da formare dei vortici e da deviare il flusso verso la parete del deflettore lungo tutta la lunghezza del passaggio. La velocità del flusso verso il deflettore e la quantità di

flusso lungo il deflettore sopprimono la separazione del flusso dal deflettore e pertanto consentono un raffreddamento soddisfacente della zona del deflettore. Le alette angolate consentono inoltre un adeguato raffreddamento della zona d'angolo 118 a causa dell'aumento del momento del flusso lungo il deflettore che fa sì che il flusso dell'aria di raffreddamento venga portato nella zona d'angolo dove l'aria raffredda tale zona. Dopo che il flusso è passato attraverso la zona d'angolo, viene scaricato nel percorso di flusso del mezzo di lavoro attraverso la zona del bordo di uscita della pala.

Sebbene l'invenzione sia stata mostrata e descritta con riferimento a delle sue forme di realizzazione preferite, è chiaro per gli esperti della tecnica che si possono effettuare diversi cambiamenti ed omissioni nella sua forma e nei suoi dettagli senza scostarsi dallo spirito e dallo scopo dell'invenzione.

#### RIVENDICAZIONI

1. Elemento aerodinamico raffreddabile di tipo a passate multiple avente delle pareti interne che si estendono tra la parete laterale di pressione e la parete laterale di aspirazione dell'elemento aerodinamico per separare un passaggio internamente all'elemento aerodinamico, e che include un passaggio che si estende nel senso della corda per far girare il flusso di raffreddamento rispetto a detti passaggi, detto passaggio che si estende nel senso della corda essendo limitato da una di dette pareti interne, caratterizzato dal perfezionamento che comprende: una pala che si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione, la pala essendo distanziata da detta prima parete lasciando un subpassaggio tra di esse, e almeno un'aletta in detto passaggio che si estende nel senso della corda, la quale è inclinata verso il flusso in arrivo dell'aria di raffreddamento per sopprimere la separazione del flusso da

detta parete interna e che si estende ad angolo acuto dalla parete alla pala per deviare una parte del flusso nel subpassaggio contro la parete e provocare una turbolenza nello strato limite adiacente a detta parete.

2. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'aletta inclinata è una prima aletta inclinata che si estende sulla parete laterale di aspirazione attraverso il subpassaggio dalla pala alla parete e dal fatto che una seconda aletta inclinata si estende sulla parete laterale di pressione attraverso il subpassaggio dalla pala alla parete.

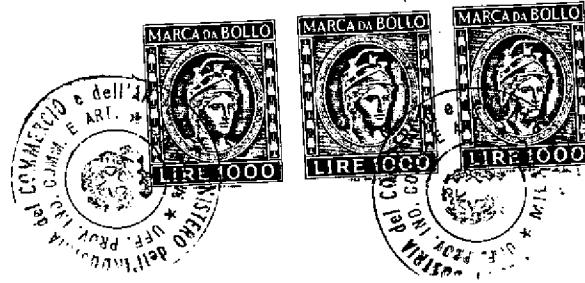
3. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 2 caratterizzato dal fatto di avere inoltre una terza aletta che si estende su detta prima parete dalla prima aletta inclinata verso la seconda aletta inclinata.

4. Elemento aerodinamico raffreddabile secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che il passaggio ha un'altezza  $h$  e l'altezza del passaggio è ridotta di circa il 15% nell'ubicazione dell'aletta sulla parete laterale di aspirazione.

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

una sezione di radice che adatta la pala della girante in modo da impegnare 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 di radice con una fonte di aria di raffreddamento, un secondo condotto atto ad essere in comunicazione fluidica con una fonte di aria di raffreddamento, ed un terzo 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 nella direzione della corda tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione,

un primo deflettore che si estende nella direzione dell'apertura alare ed è distanziato dal bordo di attacco e che si estende nella direzione della corda ed è distanziato dalla parete della punta per dividere la cavità in una parte posteriore, una parte anteriore avente un primo passaggio e una parte di punta avente un passaggio di punta in comunicazione fluidica con il primo passaggio,

un secondo deflettore che si estende nella direzione dell'apertura alare dal primo deflettore per dividere la parte posteriore della cavità in una zona di bordo di uscita e in una zona di corda media e che è distanziato dalla parete di radice nella sezione di radice lasciando un primo passaggio curvo che si estende nel senso della corda tra di essi,

un terzo deflettore che si estende nella direzione dell'apertura alare per dividere la zona della corda media della pala in un secondo passaggio che si estende verso l'esterno dalla zona di radice verso la parte che si estende nel senso della corda del primo deflettore, ed un terzo passaggio che si estende verso l'interno dalla parte che si estende nel senso della

corda del primo deflettore, il terzo deflettore essendo distanziato dalla parte che si estende nel senso della corda del primo deflettore lasciando un secondo passaggio curvo che si estende nel senso della corda tra di essi, caratterizzata dal fatto che il primo passaggio è in comunicazione fluidica con il primo condotto, in cui il primo passaggio ha una serie di alette che si estendono attraverso il primo passaggio perpendicolari alla direzione di flusso, ed il bordo di attacco ha una serie di fori per il raffreddamento a velo che si estendono attraverso il bordo e che sono angolati in modo da formare un angolo ottuso rispetto al flusso in arrivo e che pone il primo passaggio in comunicazione fluidica con il percorso del flusso del mezzo di lavoro,

caratterizzata dal fatto che una seconda serie di alette si estende attraverso il passaggio di punta sulla parete laterale di aspirazione e sulla parete laterale di pressione perpendicolarmente al flusso,

una serie di fori nella parete laterale di pressione ed un foro nella zona del bordo di uscita mettono in comunicazione fluidica il passaggio di punta con il percorso del flusso del mezzo di lavoro,

caratterizzata dal fatto che il secondo passaggio è in comunicazione fluidica con il secondo condotto ed ha una serie di alette perpendicolari alla direzione di flusso,

caratterizzata dal fatto che il secondo passaggio curvo si estende tra il secondo passaggio ed il terzo passaggio, il passaggio curvo avendo una serie di pale curve per far girare il flusso, ed una pala che si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione, la pala essendo distanziata dal primo deflettore lasciando un subpassaggio tra di essi ed inoltre avendo almeno un'aletta angolata che si estende su una di dette pareti laterali

attraverso il subpassaggio dalla pala al primo deflettore,

caratterizzata dal fatto che il terzo passaggio ha una serie di alette che si estendono attraverso il passaggio perpendicolarmente al flusso in arrivo,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio curvo si estende tra il terzo passaggio e la zona del bordo di uscita della pala per mettere in comunicazione fluidica la zona del bordo di uscita della pala con il terzo passaggio,

caratterizzata dal fatto che il primo passaggio curvo ha una pala che si estende tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione, la pala essendo distanziata da detto secondo deflettore lasciando un subpassaggio tra di essi, ed ha almeno un'alletta angolata che si estende su una di dette pareti laterali attraverso il subpassaggio dalla pala al terzo deflettore ed è inclinata verso il flusso in avvicinamento e,

caratterizzata dal fatto che la zona del bordo posteriore della pala ha una serie di piedestalli aventi degli spazi tra di essi che si estendono tra la parete laterale di aspirazione e la parete laterale di pressione per provvedere allo scarico dell'aria di raffreddamento dalla pala della girante, la serie di piedestalli essendo distanziata da un secondo deflettore per definire un passaggio per l'aria di raffreddamento nella parte posteriore della pala, il passaggio avendo una serie di alette inclinate verso il flusso in arrivo e che formano un angolo acuto rispetto al secondo deflettore.

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:

STRUTTURA DI RAFFREDDAMENTO PER ELEMENTI AERODINAMICI DI MACCHINE

ROTATIVI

[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 <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
			YES <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

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):

GENE D. FLEISCHHAUER, 27989, 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, Patent Section, United Technologies  
Corporation HARTFORD CT 06101

(Provide equivalent information in English between brackets.)

• [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 consapevole delle pene pecuniarie comminate con o senza incarcerezione a chi volutamente rende dichiarazioni false o reticenti ai sensi dell'Art. 1001, Capitolo 18 del Codice degli Stati Uniti, consci 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 MARK J. PADZER		FULL NAME OF SOLE OR FIRST INVENTOR	
FIRMA DELL'INVENTORE MARK J. PADZER	DATA 24/12/81	INVENTOR'S SIGNATURE	DATE
DOMICILIO SOUTH WINDSOR, Connecticut U.S.A.	RESIDENCE		
CITTADINANZA U.S.A	CITIZENSHIP		
RECAPITO POSTALE 73 Northview Drive, South Windsor,	POST OFFICE ADDRESS		
Connecticut 06074			
NOME E COGNOME DELL'EVENTUALE SECONDO CO-INVENTORE		FULL NAME OF SECOND JOINT INVENTOR, IF ANY	
FIRMA DELL'INVENTORE	DATA	INVENTOR'S SIGNATURE	DATE
DOMICILIO	RESIDENCE		
CITTADINANZA	CITIZENSHIP		
RECAPITO POSTALE	POST OFFICE ADDRESS		
(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  
RICCARDO & CO. S.R.L.

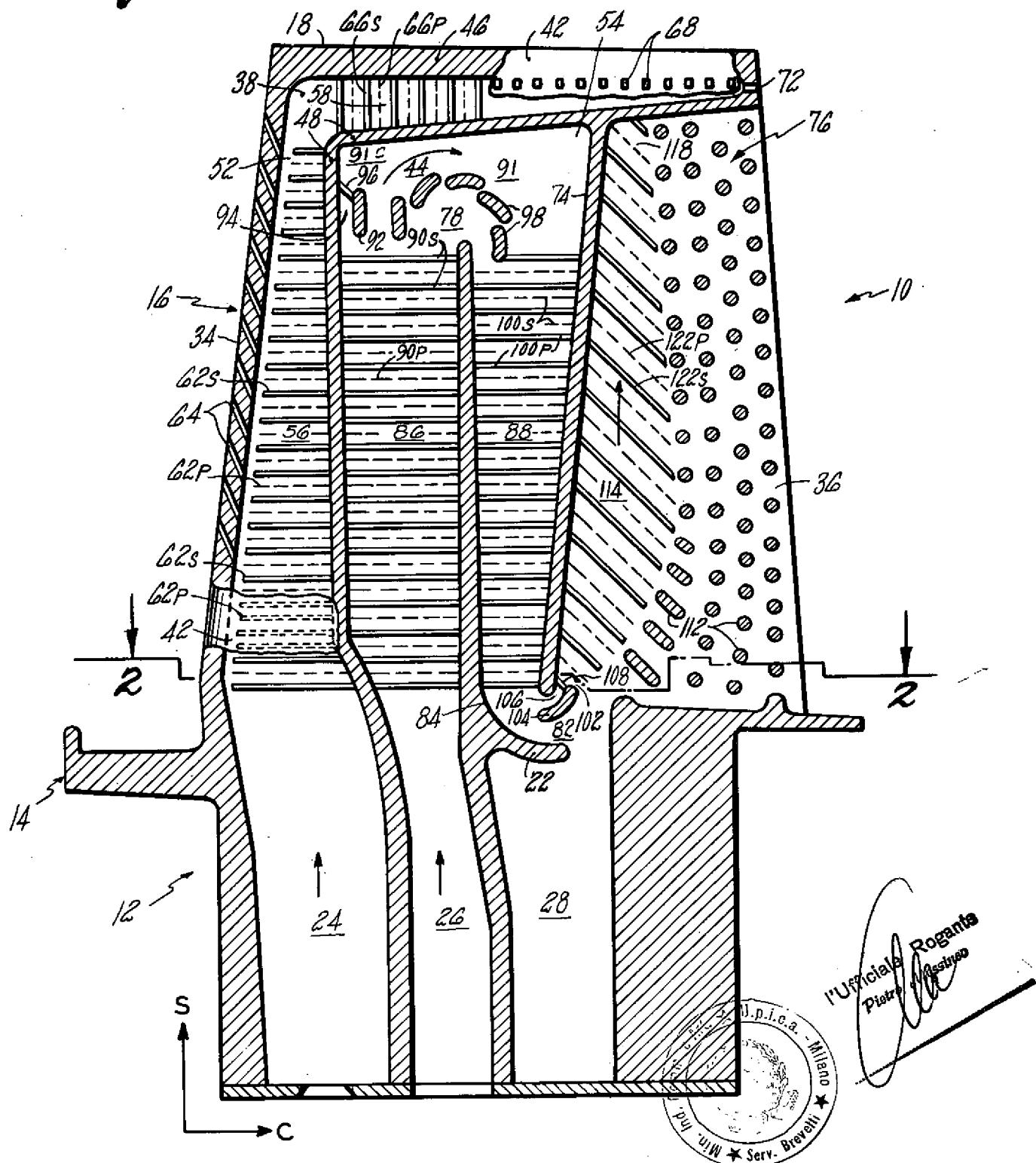


(Provide equivalent information in English between brackets.)

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

24878A/82

Fig. 1



PP. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION  
 Società dello Stato del Delaware  
 UFFICIO BREVETTI  
 RICCARDI & CO. S.R.L.

24878A/82

Fig. 2

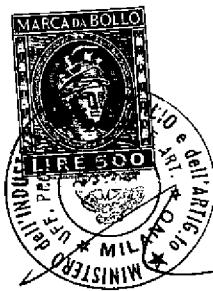
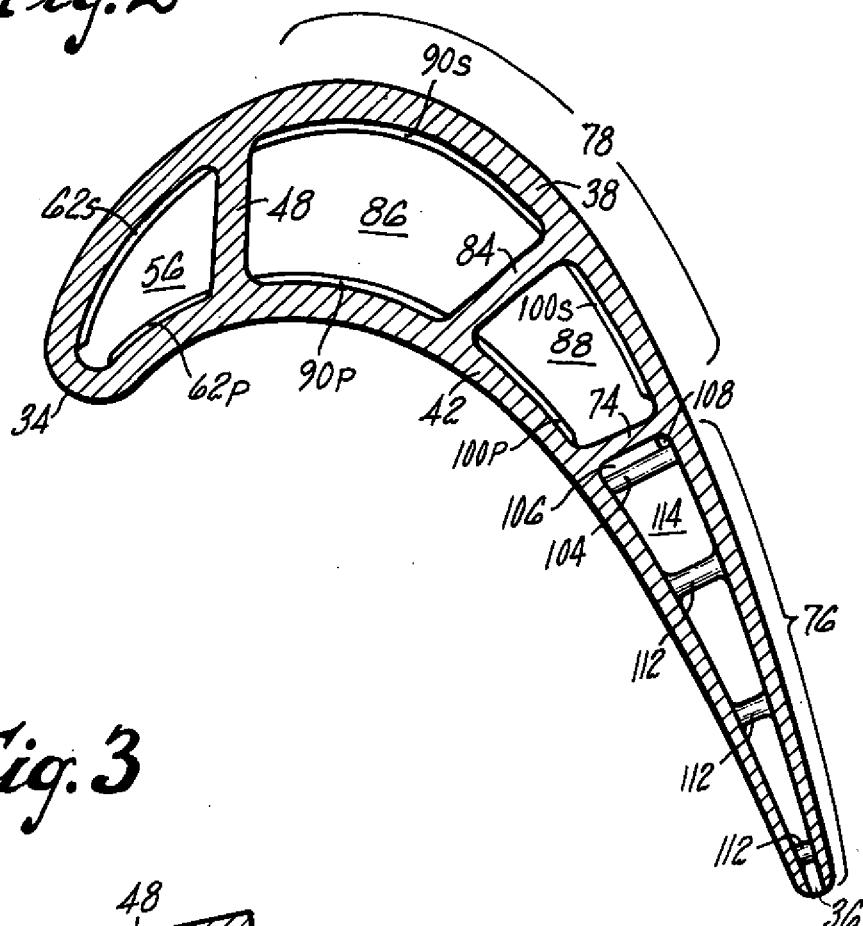


Fig. 3

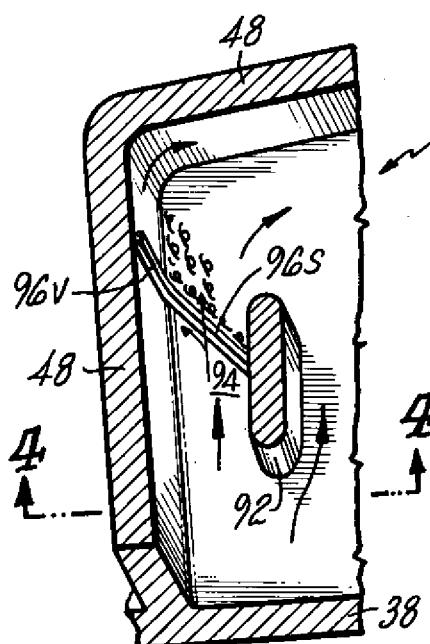
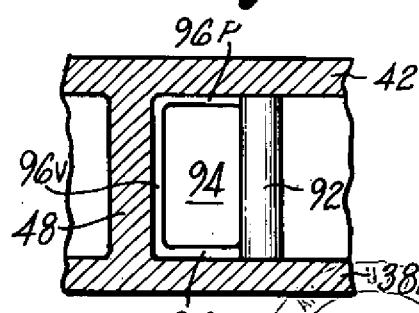
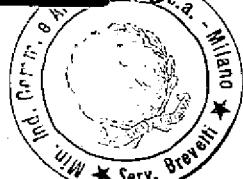


Fig. 4



l'Ufficio Brevetti  
 Pietro Riccardi  
 Serv. Brevetti  
 Milano



pp. UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION  
 Società dello Stato del Delaware

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