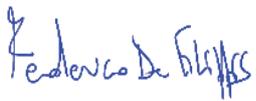
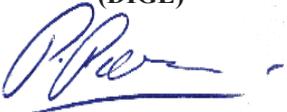


 Centro Italiano Ricerche Aerospaziali	DOCUMENT NUMBER:	REV.:
	<b>CIRA-DTS-18-1210</b>	<b>0</b>

**Technical Note**

DISTRIBUTION STATEMENT	TYPE DETAIL	PROJECT	JOB
LIBERO			
ARCHIVE /CIRA/PWTU	ARCHIVE SEQUENCE 0031	NO. OF PAGES 3+7	TASK

TITLE
CARATTERIZZAZIONE NUOVO PROGETTO DEL DIFFUSORE DI GHIBLI IN TERMINI DI RESISTENZA AL CARICO TERMICO A CUI E' SOTTOPOSTO DURANTE UN TEST

PREPARED	REVISED	APPROVED	AUTHORIZED
<b>De Filippis Federico (PWTU)</b> 	<b>De Filippis Federico (PWTU)</b> 	<b>De Filippis Federico (PWTU)</b> 	<b>Pirrelli Pierluigi (DIGE)</b> 
DATE <b>13/07/2018</b>	DATE <b>13/07/2018</b>	DATE <b>13/07/2018</b>	DATE <b>17/07/2018</b>

*By The Terms Of The Law In Force On Copyright, The Reproduction, Distribution Or Use Of This Document Without Specific Written Authorization Is Strictly Forbidden*

**A NORMA DELLE VIGENTI LEGGI SUI DIRITTI DI AUTORE QUESTO DOCUMENTO E' DI PROPRIETA' CIRA E NON POTRA' ESSERE UTILIZZATO, RIPRODOTTO O COMUNICATO TERZI SENZA AUTORIZZAZIONE**



Centro Italiano Ricerche Aerospaziali

DOCUMENT NUMBER:  
**CIRA-DTS-18-1210**

REV.:  
**0**

**TITLE:**

**CARATTERIZZAZIONE NUOVO PROGETTO DEL DIFFUSORE DI GHIBLI IN TERMINI DI RESISTENZA AL CARICO TERMICO A CUI E' SOTTOPOSTO DURANTE UN TEST**

**ABSTRACT:**

**AUTHORS:**

**De Filippis Federico; Leporanico Fabio; Scognamiglio Michele**

**APPROVAL REVIEWERS:**

**De Filippis Federico**

**APPROVER**

**De Filippis Federico**

**AUTHORIZATION REVIEWERS:**

**Pirrelli Pierluigi**

**AUTHORIZER**

**Pirrelli Pierluigi**



# NOTA TECNICA

## **CARATTERIZZAZIONE NUOVO PROGETTO DEL DIFFUSORE DI GHIBLI IN TERMINI DI RESISTENZA AL CARICO TERMICO A CUI E' SOTTOPOSTO DURANTE UN TEST**

### Sommario

INTRODUZIONE.....	2
SCOPO DELLA NOTA .....	2
DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	2
FLUSSO TERMICO ALLE PARETI DEL DIFFUSORE DI GHIBLI .....	3
RESISTENZA NUOVO PROGETTO DIFFUSORE IN ACCIAIO RIVESTITO NELLE PARETI INTERNE.....	4
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	4
ALLEGATO 1 .....	6
ALLEGATO 2 .....	7

## INTRODUZIONE

CIRA dispone di una galleria del vento ipersonica denominata Ghibli la cui potenza massima di alimentazione elettrica è pari a 2 MW (Rif. 1).

Questa galleria dispone attualmente di un diffusore del diametro medio di circa 0,5 m e lunghezza di circa 7 m (Rif. 2), che non opera con efficienza soddisfacente da consentire prove su modelli del diametro superiore ai 3-4 mm.

Per rimuovere questo limite è stata studiata una nuova geometria del diffusore dal diametro medio di circa 0,27 m capace di rimuovere le limitazioni dell'attuale (Rif.3).

E' intenzione del CIRA procedere alla realizzazione del nuovo diffusore. Questa nuova realizzazione differirebbe dalla precedente perché è progettata senza un circuito di raffreddamento. Il diffusore attualmente installato, infatti, smaltisce il calore che assorbono le sue pareti, generato dall'attrito del flusso, attraverso una camicia nella quale circola acqua industriale.

La scelta di una soluzione senza circuito di raffreddamento ha due vantaggi:

- 1) notevole riduzione di costi di realizzazione del nuovo diffusore e
- 2) possibilità di produrre il diffusore attraverso tratti giustapposti di tubo (segmentato), in modo da consentire eventuali piccole varianti sulle parti iniziali e finali del componente allo scopo di ottimizzarne efficienza e comportamento rispetto al getto.

Il diffusore è stato previsto essere realizzato attraverso tubi in acciaio dello spessore di 10 mm e con rivestimento di materiale ceramico delle superfici a contatto con il flusso con materiale ceramico resistente ad elevate temperature.

## SCOPO DELLA NOTA

La presente nota ha lo scopo di verificare quantitativamente che la soluzione che si intende adottare per la realizzazione del nuovo diffusore dell'impianto Ghibli (segmentato, non raffreddato e con pareti interne rivestite di materiale ceramico) è idonea in termini di resistenza alle sollecitazioni termiche a cui il componente è soggetto durante un test.

## DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Rif. 1 - Doc. n. CIRA-TR-06-0293 The Ghibli Plasma Wind Tunnel Description on a new CIRA – PWT Facility 18/10/2006).

Rif. 2 – Doc. n. CIRA-GHIBLI-TS-6502 Capitolato Speciale per la fornitura di Diffusore.

Rif. 3 – Doc. n. CIRA DTS-18-1163 Specifica Tecnica di Acquisto: primo tratto nuovo diffusore di Ghibli (10/07/2018).

Rif. 4 – Doc. n. SCI-TN-10000B-0093-CIRA PWT – Plasma Wind Tunnel: Facility Description (15/01/1998)

Rif. 5 – Doc. n. CIRA-DTS-17-0841 Studio ed analisi funzionale del sistema di raffreddamento dell'impianto PWT 'Scirocco' del CIRA (05/09/2017).

## FLUSSO TERMICO ALLE PARETI DEL DIFFUSORE DI GHIBLI

La valutazione della potenza termica che assorbe il diffusore dell'impianto Ghibli durante un test è possibile a partire da misurazioni fatte sull'impianto dalle caratteristiche analoghe (Scirocco, Rif.4), anch'esso operativo al CIRA (Rif. 5).

Gli impianti Scirocco e Ghibli sono due gallerie ipersoniche che forniscono un flusso di aria con le stesse caratteristiche termo-fluidodinamiche: unica differenza è nella dimensione del getto che in Scirocco raggiunge circa 2 m di diametro ed in Ghibli 0,15 m. La diversa dimensione del getto ha richiesto la realizzazione di Scirocco alimentato da una potenza elettrica di 70.000.000 Watt (max) e Ghibli di 1.750.000 Watt (max).

Il diffusore di Scirocco durante un test nell'impianto assorbe una potenza termica max totale pari a 10.000.000 W (15 % circa della max potenza elettrica di alimentazione impianto) equivalente ad un flusso termico di 30.000 W/m<sup>2</sup>.

Questo è dedotto a partire da recenti rilievi sperimentali che hanno dimostrato che durante un test il diffusore di Scirocco smaltisce circa il 15% dell'energia elettrica entrante (Figura 1). Il rimanente 85 % è smaltito da altri componenti raffreddati dell'impianto: arco elettrico, ugello, Scambiatore di calore, Resistenze raffreddate etc.

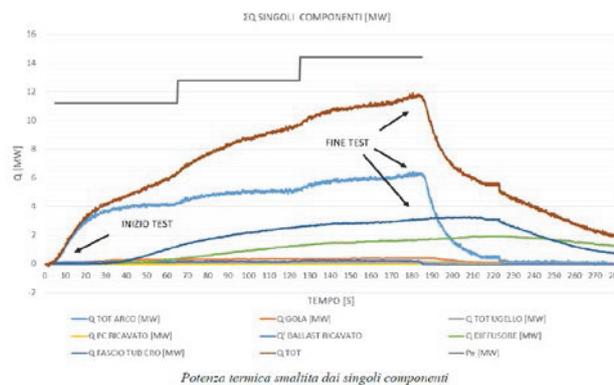


Figura 1

In Scirocco le pareti interne del diffusore sono le superfici attraverso le quali la potenza termica è smaltita attraverso la circolazione di acqua industriale. Le pareti interne del diffusore di Scirocco sommano una superficie interna di circa 350 mq (allegato 1): il flusso alle pareti è quindi mediamente di 30.000 W/mq.

Analogamente il diffusore di Ghibli assorbe una potenza termica totale pari a 250.000 W (15 % circa della max potenza elettrica di alimentazione impianto) equivalente ad un flusso termico di 80.000 W/m<sup>2</sup>.

Le pareti interne del diffusore di Ghibli sommano una superficie interna di circa 5.5 mq (allegato 2): il flusso alle pareti è quindi mediamente di 45.000 W/mq.

## RESISTENZA NUOVO PROGETTO DIFFUSORE IN ACCIAIO RIVESTITO NELLE PARETI INTERNE

La valutazione della resistenza allo stress termico da parte del diffusore così come ora progettato si basa in primo luogo sulla valutazione che tutto il calore che esso smaltisce non lo porta troppo a ridosso della sua temperatura di fusione.

In seconda istanza è verificato che neppure localmente sarà possibile superare una temperatura di fusione del componente grazie al fatto che tutte le superfici a contatto con il flusso, origine del carico termico, sono ricoperte da un materiale che resiste a temperature significativamente superiori a detta temperatura di fusione.

### DATI RELATIVI AL DIFFUSORE

La massa del nuovo diffusore è circa di 410 kg .

Massa = (sup. laterale)\*(spessore)\*(densità acciaio) = 5,5 mq \* 0,01 m \* 7500 kg/mc = 410 kg

Il materiale previsto è l'acciaio il cui calore specifico è 502 Joule/(Kg K).

La temperatura di fusione dell'acciaio varia tra 1370 e 1540 C e pertanto è da ritenersi conservativo richiedere che durante il funzionamento dell'impianto questo materiale del diffusore non superi mai i 1000 C.

### VALUTAZIONI

Affinchè il tubo non giunga a fusione è necessario sottoporre per un tempo limitato le pareti del diffusore di Ghibli al flusso ipersonico ed al relativo flusso termico. Questo tempo limite è di 43 minuti.

Tempo limite = [(calore specifico)\*(massa diffusore)\*(diff. di temp. per la fusione in K)] / (flusso termico alle pareti di Ghibli) =  
= [502 J/(kg\*K) \* 410 kg \* 1000 K] / (80000 J/(m<sup>2</sup>\*s)) = 2573 secondi = 43 minuti

Il rivestimento è richiesto dover resistere ad almeno 1540 C che è la temperatura max di fusione dell'acciaio.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La soluzione di un diffusore non raffreddato in acciaio con pareti interne rivestite con materiale ceramico è idonea per il nuovo diffusore di Ghibli perché non è previsto che i test superino la durata di 43 minuti (limite di cui dettaglio è al precedente capitolo).

E' richiesto, però, l'utilizzo di un rivestimento di materiale (preferibilmente ceramico), delle pareti interne del diffusore che sia capace di resistere alla temperatura di 1540 C.

E' preferibile realizzare il diffusore a tratti da congiungere tramite flange (segmentato) in modo da:

- consentire eventuali piccole variante sulle parti iniziali e finali di questo per ottimizzarne efficienza e comportamento rispetto al getto e
- da poter inizialmente procedere alla realizzazione del solo primo tratto, con una minima spesa, per collaudare significativamente la soluzione progettata e poi, a successo della prova, procedere all'acquisto degli altri tratti e
- da ridurre significativamente il costo di realizzazione del componente.

Il ricoprimento tecnicamente più valido a nostra conoscenza, sulla base di informazioni acquisite e per nostra diretta esperienza è, in questo caso, quello ceramico a doppio strato, che resiste abbondantemente a temperature superiori ai 1540 C richiesti.

Questo ricoprimento ha senso che abbia le stesse caratteristiche di quello utilizzato per le protezione di parti metalliche dell'arco elettrico dell'impianto Ghibli perché fornisce valida garanzia di affidabilità in termini di resistenza al calore e agli altri stress meccanici a cui sono sottoposti i componenti di una galleria del vento esposti a flussi di elevata entalpia. Si tratta di una soluzione che è stata implementata su Ghibli negli ultimi tempi solo dopo un lungo periodo di attenta e diligente sperimentazione data la sua specificità, la particolarità delle parti che si andavano a ricoprire e la necessaria scrupolosa verifica che non presentasse inconvenienti non prevedibili sia sul pezzo trattato che su altre parti dell'impianto o rispetto ai processi termo-fluidodinamici-prestazionali della galleria. E' da ritenersi rischioso e non ragionevole, invece, procedere in altre direzioni che passerebbero attraverso l'indagare un'eventuale esistenza sul mercato di altre tecnologie analoghe al ricoprimento ceramico tramite thermal spray, lo sperimentarne l'efficacia e, in caso positivo, il valutarne poi gli eventuali vantaggi per procedere ad un eventuale utilizzo per le esigenze del diffusore di Ghibli.

## ALLEGATO 1

### Diffusore Scirocco: calcolo superficie laterale

PICK-UP (cilindro)	
Raggio segmento 1 (mm)	1325,0
Lunghezza segmento 1 (mm)	1975,0
Superficie interna segmento 1 (mm <sup>2</sup> )	16433975,0
Superficie interna segmento 1 (m <sup>2</sup> )	16,4
CONTRACTION (tronco di cono)	
Raggio ingresso segmento 2 (mm)	1325,0
Raggio uscita segmento 2 (mm)	1060,0
Lunghezza segmento 2 (mm)	1975,0
Apotema segmento 2 (mm)	1992,7
Superficie interna segmento 2 (mm <sup>2</sup> )	14923124,8
Superficie interna segmento 2 (m <sup>2</sup> )	14,9
THROT SECTIONS (cilindro)	
Raggio segmento 3 (mm)	1060,0
Lunghezza segmento 3 (mm)	30400,0
Superficie interna segmento 3 (mm <sup>2</sup> )	202366720,0
Superficie interna segmento 3 (m <sup>2</sup> )	202,4
SUBSONIC SECTIONS (tronco di cono)	
Raggio ingresso segmento 4 (mm)	1060,0
Raggio uscita segmento 4 (mm)	1500,0
Lunghezza segmento 4 (mm)	15450,0
Apotema segmento 4 (mm)	15456,3
Superficie interna segmento 4 (mm <sup>2</sup> )	124243633,4
Superficie interna segmento 4 (m <sup>2</sup> )	124,2
Superficie totale diffusore (m <sup>2</sup> )	358,0

## ALLEGATO 2

### Diffusore Ghibli: superficie laterale

PICKUP (tronco di cono)	
Raggio ingresso segmento 1 (mm)	175,00
Raggio uscita segmento 1 (mm)	135,00
Lunghezza segmento 1 (mm)	450,00
Apotema segmento 1 (mm)	451,77
Superficie interna segmento 1 (mm <sup>2</sup> )	439757,08
Superficie interna segmento 1 (m <sup>2</sup> )	0,44
TROATH SECTIONS (cilindro)	
Raggio segmento 2 (mm)	135,00
Lunghezza segmento 2 (mm)	3750,00
Superficie interna segmento 2 (mm <sup>2</sup> )	3179250,00
Superficie interna segmento 2 (m <sup>2</sup> )	3,18
SUBSONIC SECTION (tronco di cono)	
Raggio ingresso segmento 3 (mm)	135,00
Raggio uscita segmento 3 (mm)	187,50
Lunghezza segmento 3 (mm)	2000,00
Apotema segmento 3 (mm)	2000,69
Superficie interna segmento 3 (mm <sup>2</sup> )	2025997,66
Superficie interna segmento 3 (m <sup>2</sup> )	2,03
Superficie totale diffusore (m <sup>2</sup> )	5,65