

UNIVERSITY OF GENOVA

POLYTECHNIC SCHOOL

DIME

**Department of Mechanical, Energy, Management
and Transportation Engineering**



**MASTER OF SCIENCE THESIS
IN
MECHANICAL ENGINEERING**

**Tip clearance CFD models to improve the aerodynamic
characterization of heavy duty gas turbine transonic axial
compressors**

Supervisor:

Chiar.^{mo} Prof. Ing. Alessandro Bottaro

Co Supervisor:

Dott. Ing. Savino Depalo

Candidate:

Luca Ottonello

March 2018

Modelli CFD dei giochi di sommità pala per migliorare la caratterizzazione aerodinamica di compressori assiali transonici per turbine di potenza

SOMMARIO

Il flusso attraverso il gioco radiale tra palette e cassa (comunemente detto clearance) di un compressore assiale transonico influenza in modo fondamentale le perdite della macchina ed il fenomeno del pompaggio all'interno del compressore stesso. Tuttavia, il ruolo giocato dai flussi secondari che interessano la clearance sul processo di stallo è ancora oggetto di discussione e ricerca.

L'obiettivo del presente elaborato è quello di migliorare il modello di calcolo di un compressore assiale transonico facente parte della flotta Ansaldo Energia, attraverso il testing e la validazione di diversi modelli di clearance sviluppati da ICAD.

Per questo motivo sono state realizzate varie simulazioni avvalendosi della CFD, in particolare è stato utilizzato il software denominato TRAF (acronimo di TRAnsonic Fluid solver), specificatamente rivolto all'analisi aerodinamica nel campo della progettazione di turbomacchine.

Attraverso il supporto di questo strumento, è stato possibile portare a termine uno studio relativo ai nuovi modelli di clearance per due diversi compressori appartenenti alla flotta Ansaldo Energia utilizzando lo stesso setup di calcolo, tale caratteristica include la scelta del modello di turbolenza implementato dal codice, inizialmente rappresentato dal Balwin-Lomax.

I risultati più significativi sono stati ottenuti tramite la comparazione critica tra i vari modelli a disposizione: il New Opentip, l'H-Pinch ed infine lo Sblock, considerando come riferimento il modello precedentemente utilizzato per tutti i calcoli, ovvero l'Old Opentip.

L'analisi critica dei risultati è stata realizzata sulla base di diversi criteri, quali la conservazione della portata massica tra le schiere, la stabilità numerica del calcolo, passando per la disamina delle principali grandezze che descrivono il funzionamento della macchina, la capacità di localizzare la separazione sulla stessa schiera da parte dei diversi modelli tramite l'analisi delle linee di corrente e la potenzialità di predire il margine al pompaggio ottenendo quindi una miglior attinenza con i dati sperimentali disponibili e, dunque, con il reale comportamento del flusso all'interno della macchina. Inoltre, si è tentato di fornire una giustificazione di ogni risultato ottenuto, attribuendo così un significato fisico ai complessi fenomeni che interessano la clearance.

Inizialmente i modelli sono stati testati utilizzando un solo setup di calcolo per entrambi i compressori, con l'obiettivo di ottenere indicazioni relative a due macchine aventi diversa geometria, performance e, aspetto fondamentale, differente taglia di clearance. Inoltre è stato poi sperimentato un nuovo setup, la cui caratteristica fondamentale è l'utilizzo del $k-\omega$ quale modello di turbolenza, questa scelta costituisce una criticità causata dalla crescente sensibilità ai flussi secondari di tale modello analitico che interessano in particolar modo la clearance.

Infine verrà stabilito il miglior modello per l'implementazione della clearance, in ottica di un miglioramento del setup di calcolo, realizzando in tal modo un setup più robusto, accurato ed in grado di predire nel miglior modo possibile il reale funzionamento del compressore.

ABSTRACT

The flow in the rotor tip clearance gap in an axial compressor influences the loss levels and the stall onset point. The role of tip clearance flows in the stall inception process is still debated, though.

The aim of this thesis is to improve the calculation model of a transonic axial compressor being part of Ansaldo Energia fleet through the testing and validation of different clearance models released by ICAD.

For this purpose CFD simulations have been carried out using TRAF code (TRANsonic Flow solver), which is specifically tuned to assist turbomachinery designers in advanced aerodynamic applications. With the fundamental support of this code, it has been possible to obtain a clearance model analysis for two different compressors of Ansaldo Energia fleet with the same calculation setup. One of the most important feature of the calculation setup is the turbulence model implemented, Baldwin-Lomax has been used for most of the present work. The most important results were obtained through the comparison between the different models provided: the New Opentip, the H-Pinch and the Sblock model, with respect to the clearance model employed for the previous calculation, the Old Opentip one.

The discussion concerning the differences between models has been carried out taking into account different criteria, such as mass flow conservation among the compressor rows, numerical stability in terms of residuals value, the examination of the main quantities which describe the compressor operation along the entire machine and on the span-wise direction within the single row, the capacity of localize the separation through the streamline analysis and the ability to predict the surge margin as close as possible to experimental data available. In addition, on the basis of the results achieved, attempts have been made to offer a physical meaning of the complex phenomena which occurs in a problematical zone such as clearance area.

Firstly, the models were tested using the same calculation setup for both compressors, with the purpose of comparing the results acquired on machines with dissimilar geometries, performances and, more important, different clearance sizes. Secondly, a new calculation setup has been applied, which includes the $k-\omega$ turbulence model, a more demanding case because of the largest sensibility of this particular two equations model to the secondary fluxes, considerably present especially in the clearance area.

In conclusion will be discussed the best clearance model in order to improve the calculation model realising a setup more robust, accurate and able to predict in a better way the real compressor behaviour.