

Dottorando:
Lorenzo Scano

Titolo della Tesi di Dottorato:
Modellizzazione del fenomeno dello stallo rotante in compressori centrifughi bistadio

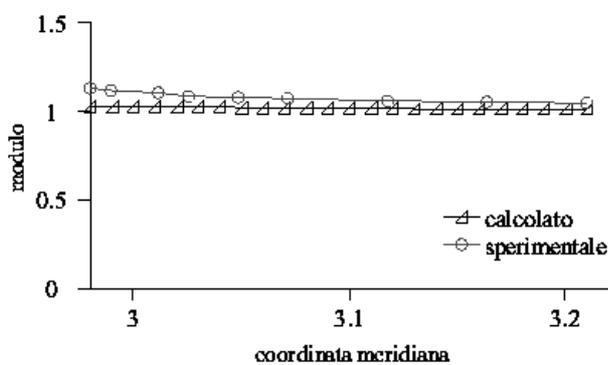
Breve descrizione:

L'obbiettivo della tesi è la costruzione di un modello teorico completo per la simulazione del fenomeno dello stallo rotante in compressori centrifughi bistadio.

Lo stallo rotante nei turbocompressori è stato oggetto di una estesa analisi teorica, nel corso degli ultimi 50 anni, orientata principalmente allo studio di macchine assiali, a causa del ruolo primario da esse svolto nello sviluppo dell'industria aeronautica. I compressori assiali sono sempre multistadio e per queste macchine è semplice rintracciare, in letteratura, modelli matematici per la simulazione dello stallo rotante. Uno dei più noti tra questi è senza dubbio quello di Moore, che permette di ricavare l'andamento dei disturbi di velocità per la macchina oggetto dell'analisi. Partendo da questo modello lo stesso Moore sviluppò, successivamente, una teoria per turbocompressori di tipo centrifugo. Queste macchine, seppur non abbiano storicamente goduto della stessa attenzione rivolta a quelle assiali, hanno, al giorno d'oggi, un ruolo di primo piano nell'industria estrattiva, chimica e dei piccoli impianti con turbina a gas. Il nuovo modello di Moore, analogamente ad alcuni studi precursori come quello di Abdelhamid, tratta esclusivamente il caso di turbocompressori monostadio e consiste nell'analisi del campo di moto nel diffusore non palettato di una macchina radiale durante lo stallo rotante. E' degno di nota che, nonostante poggi su ipotesi fluidodinamiche molto forti (flusso incomprimibile e non viscoso), il modello sia in grado di rappresentare alcune caratteristiche peculiari dello stallo nei compressori radiali, come la presenza di diverse velocità di propagazione delle celle. Il punto chiave del modello di Moore è lo studio del fenomeno dello stallo come "sovrapposizione" di un sistema di disturbi periodici su un flusso assialsimmetrico di fondo; a partire da questa ipotesi esso ricava l'andamento delle perturbazioni nel campo di moto del solo diffusore della macchina. Il modello prescinde da ogni descrizione di fenomeni di tipo viscoso; il ruolo rivestito da questi ultimi è quello di innescare lo stallo a causa di separazioni di flusso che, passando dallo strato limite ("wake flow") al flusso irrotazionale indisturbato ("jet flow") impongono un sistema di fluttuazioni di velocità e pressione a quest'ultimo.

Nonostante la maggior parte dei compressori centrifughi di media e grossa taglia sia multistadio (macchine bistadio sono molto comuni), non è rintracciabile, in letteratura, alcuna analisi di stallo in questo tipo di turbomacchine. Lo scopo del presente lavoro è stato quindi quello di estendere il modello di Moore per il diffusore del compressore monostadio, in modo da analizzare il campo di moto di tutte le componenti di una macchina bistadio durante lo stallo rotante. Questo ha portato direttamente alla necessità di scrivere le equazioni fluidodinamiche, in termini di fluttuazioni di velocità e pressione, anche per domini geometricamente complessi come le giranti e il condotto di ritorno. A tal fine sono stati adottati sistemi di riferimento rotanti (sia rispetto al rotore, che alla cella di stallo) espressi in coordinate curvilinee, e sono state ottenute formulazioni delle equazioni di conservazione del tutto generali e adatte alla trattazione del problema oggetto di studio. Ne è risultato un sistema differenziale complesso, nelle incognite dei disturbi di velocità e pressione, articolato in 8 parti, ciascuna corrispondente ad una componente della macchina, partendo dal primo induttore fino al diffusore del secondo stadio. L'integrazione numerica di tale sistema è stata ottenuta realizzando un codice di calcolo in linguaggio C, sviluppato su piattaforma Linux. Il metodo di integrazione adottato è stato un esplicito di Runge Kutta, al quarto ordine con costanti di Simpson, unito ad una routine esaustiva di calcolo delle condizioni al contorno iniziali.

I risultati della simulazione sono stati confrontati con quelli di un'analisi sperimentale svolta presso l'Università degli Studi di Trieste su una soffiante bistadio in condizione di stallo rotante. Il programma è stato in grado di fornire dei risultati in buon accordo con i dati sperimentali. La velocità di propagazione dello stallo calcolata dal modello è stata di 0.49 volte quella della girante a fronte di un valore di 0.5 circa rilevato sperimentalmente. Sia il modello che i dati sperimentali hanno evidenziato la presenza di sole fluttuazioni "veloci", associate presumibilmente alla girante, a differenza del caso delle macchine monostadio che presentano un tipico aspetto bimodale delle stesse. Questo ha fatto supporre che presumibilmente lo stallo rotante nei turbocompressori radiali multistadio abbia delle caratteristiche più simili a quelle delle macchine assiali (intrinsecamente pluristadio) che a quelle dei compressori monostadio. Anche l'andamento dei disturbi si è rivelato in buon accordo con i dati sperimentali; in particolare quello di velocità assoluta in direzione radiale nei due diffusori, di cui si riporta il valore del modulo:



diffusore primo stadio

diffusore secondo stadio

e quello di velocità assoluta lungo la direzione circonferenziale, in ingresso ai due diffusori, di cui si riporta un confronto diretto tra dati sperimentali (interpolati in linea verde) e calcolati (linea blu):

