

Università degli Studi di Pisa



Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Meccanica

TESI DI LAUREA

Relatori

Prof. PAOLO DI MARCO

Ing. ROBERTO GABBRIELLI

Ing. STEFANO MUSSI (TM.P. S.p.A.)

Candidato

MARCO STORNAIUOLO

Data di laurea: 8 giugno 2011

Titolo della tesi
ANALISI E MODIFICHE DELLA *BOOSTER PUMP* 600DD56
TERMOMECCANICA
DELL'IMPIANTO DI *SHOAIBA MINA*

Tesi proposta per il conseguimento del titolo accademico di
DOTTORE MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Pisa

Relatori
Prof. PAOLO DI MARCO
Ing. ROBERTO GABBRIELLI
Ing. STEFANO MUSSI (TM.P. S.p.A.)

Candidato
MARCO STORNAIUOLO

Data di laurea: 8 giugno 2011

TESI etd-05052011-084405

URN	etd-05052011-084405
Autore	STORNAIUOLO, MARCO
Matricola	233941
Indirizzo email	storny@libero.it
Struttura	INGEGNERIA, FACOLTA'
Corso di studi	INGEGNERIA MECCANICA
Commissione	<ul style="list-style-type: none"> • Prof. Paolo Di Marco - relatore
Tipo di tesi	Tesi di laurea specialistica
Titolo	Analisi e modifiche della booster pump 600DD56 Termomeccanica dell'impianto di Shoaiba Mina
Data inizio appello	2011-06-08
Data inizio sottomissione	2011-05-05

Nota per il relatore

Attesto che la tesi è stata da me approvata e giudicata idonea alla presentazione per l'esame di laurea, secondo quanto stabilito dalle linee-quadro d'Ateneo

Firme leggibili dei relatori**Nota per il candidato**

Con la presente firma dichiaro sotto la mia responsabilità che questo frontespizio è conforme a quello registrato nell'apposito programma di gestione delle tesi elettroniche

Firma leggibile dello studente

Titolo della tesi

Analisi e modifiche della booster pump 600DD56 Termomeccanica dell'impianto di Shoaiba Mina

Sommario

Il presente lavoro di tesi è stato svolto durante un'attività di stage semestrale presso l'azienda TM.P Termomeccanica Pompe S.p.A. di La Spezia, e ha avuto come oggetto l'ottimizzazione di una pompa centrifuga e dell'impianto a essa collegato.

L'attività è stata articolata in tre fasi principali, non necessariamente cronologicamente sequenziali: una fase di studio, per comprendere l'influenza delle principali grandezze sul funzionamento di una pompa e per ricercare e sviluppare nuove soluzioni; una fase di modellazione al computer, con software CAD, FEM e CFD, per sviluppare le soluzioni studiate e verificarne la funzionalità; una fase di prove pratiche, sostenute presso il centro prove aziendale, per rilevare le curve caratteristiche della macchina e misurarne tutte le prestazioni.

Il progetto ha previsto innanzi tutto lo studio delle condizioni attuali della macchina, della girante, della borsa di aspirazione e delle tubazioni di ingresso alla pompa. Dopo aver rilevato le principali problematiche tramite modellazione CAD e analisi CFD, sono state studiate e verificate alcune modifiche da apportare alle principali componenti della macchina, nel rispetto delle specifiche richieste dal cliente.

Thesis title

Investigation and modifications of the booster pump 600DD56 Termomeccanica of Shoaiba Mina plant

Abstract

The work of this thesis has been developed during a six-months internship at TM.P Termomeccanica Pompe S.p.A. in La Spezia. The subject of this internship has been the optimization of a centrifugal pump and the associated plant.

The activity has been carried out in three main stages, not necessarily chronologically sequential: a study stage with the aim of understanding the influence of the main physical quantities on the operation of a pump, and with the purpose of researching and developing new solutions; a computer aided modelling stage, with the support of CAD, FEM and CFD software, with the purpose of implementing the studied solutions and checking their functionality; a stage of practical tests carried out at the factory test centre, with the aim of obtaining the characteristic curves of the machinery and to measure its performances.

The project started with the study of the actual conditions of the machinery, impeller, inlet casings and inlet pipeline. After the detection of the main troubles with the aid of CAD modelling and CFD analysis, some modifications of the main components of the machinery have been studied and tested, with the respect of the specifications required by the customer.

Indice

1.	Il gruppo Termomeccanica	1
1.1.	Struttura del gruppo	1
1.2.	TM.P S.p.A. Termomeccanica Pompe	1
1.3.	Modalità di lavoro e gestione della qualità	3
2.	Le pompe centrifughe	4
2.1.	Componenti idraulici delle pompe centrifughe	4
2.2.	Prestazioni delle pompe centrifughe	7
	2.2.1. <i>Curve caratteristiche delle pompe centrifughe</i>	8
2.3.	Tipi di pompe e loro applicazioni	9
2.4.	Idraulica delle pompe centrifughe	11
2.5.	Bilancio energetico e prestazioni	12
2.6.	Coefficienti adimensionali e similitudine delle pompe	18
2.7.	Avviamento e spegnimento	20
2.8.	La cavitazione nelle pompe	22
	2.8.1. <i>Curva caratteristica NPSH</i>	24
	2.8.2. <i>Criteri di sicurezza per la cavitazione</i>	25
2.9.	Componenti meccanici di una pompa centrifuga	27
	2.9.1. <i>Scelta dei cuscinetti</i>	27
	2.9.2. <i>Guarnizioni e tenute</i>	29
	2.9.3. <i>Giunti</i>	33
2.10.	Spinte idrauliche	34
	2.10.1. <i>Spinte assiali</i>	34
	2.10.2. <i>Spinte radiali</i>	37

2.11.	Rumore nelle pompe centrifughe	38
2.12.	Vibrazioni nelle pompe centrifughe	40
	2.12.1. <i>Forze agenti sul rotore</i>	41
	2.12.2. <i>Comportamento rotodinamico delle pompe</i>	42
	2.12.2. <i>Misura delle vibrazioni</i>	44
3.	Descrizione delle prestazioni dell'impianto	46
3.1.	Caratteristiche generali della pompa 600 DD 56	46
	3.1.1. <i>Costruzione</i>	48
	3.1.2. <i>Materiali impiegati</i>	59
	3.1.3. <i>Piano di controllo della qualità</i>	59
3.2.	Analisi e misure effettuate sulla pompa	62
	3.2.1. <i>Curve caratteristiche di funzionamento</i>	62
	3.2.2. <i>Descrizione della procedura delle prove</i>	64
	3.2.3. <i>Misura delle vibrazioni e del rumore</i>	71
3.3.	Anomalie di funzionamento dell'impianto	73
4.	Analisi delle tubazioni di alimentazione	79
4.1.	Introduzione	79
4.2.	Flusso in un canale curvo	80
4.3.	Analisi fluidodinamica agli elementi finiti	81
	4.3.1. <i>Calcolo delle perdite di pressione</i>	94
4.4.	L'impianto di Shoaiba Mina	97
4.5.	Conclusioni	98
5.	Analisi della girante e del condotto di aspirazione	99
5.1.	Analisi della girante originale	99
	5.1.1. <i>Analisi monodimensionale della girante originale</i>	100
5.2.	Analisi del condotto di aspirazione originale	104
5.3.	Analisi CFD della girante e del condotto di aspirazione	112
	5.3.1. <i>Modifiche proposte per la girante</i>	120
5.4.	Analisi CFD dei componenti modificati	121
5.5.	Conclusioni	124

6.	Effetti delle modifiche della macchina	126
6.1.	Descrizione delle prove	126
	6.1.1. <i>Esito delle prove con la girante originale</i>	130
	6.1.2. <i>Esito delle prove con la girante staggered</i>	133
6.2.	Ulteriori modifiche apportate alla macchina	136
6.3.	Previsioni future. Conclusioni	138
I.	Soluzione numerica del moto dei fluidi	140
I.1.	Fluidodinamica computazionale	140
	I.1.1. <i>Generazione della mesh, condizioni al contorno, condizioni iniziali</i>	142
	I.1.2. <i>Mediazione dei risultati e post-processing</i>	143
	I.1.3. <i>Incertezze, qualità e valutazione del CFD</i>	144
I.2.	Modelli e leggi del moto turbolento	145
	I.2.1. <i>Teoria del boundary layer e legge di parete</i>	145
	I.2.2. <i>Modelli di turbolenza</i>	147
II.	Eccitazione idraulica delle vibrazioni	149
I.1.	Interazione tra le pale della girante e del diffusore	149
	Elenco delle figure	152
	Elenco delle tabelle	155
	Bibliografia	157

