

Indice

Introduzione	III
1 Introduzione all' ice and water dispenser EMZ	1
2 Presentazione del sistema di trasmissione Sankyo Nidec e analisi brevettuale	12
2.1 Introduzione alle ruote dentate	12
2.2 Il sistema di trasmissione progettato da Sankyo Nidec	14
2.3 Ricerca brevetti	21
2.4 Conclusioni	32
3 Modellazione ad elementi finiti della trasmissione a ruote dentate	33
4 Risultati delle analisi numeriche e confronto con la metodologia tradizionale di Lewis	47
4.1 Sistema di trasmissione globale	47
4.2 Coppia di ruote maggiormente sollecitata	51
4.2.1 Coppia di ruote maggiormente sollecitata $T = 20^{\circ}\text{C}$	52
4.2.2 Coppia di ruote maggiormente sollecitata $T = -20^{\circ}\text{C}$	59
4.3 Metodologia classica per il dimensionamento di sistemi di trasmissione a ruote dentate ...	62
4.3.1 Metodo di Lewis	63
4.3.2 Presentazione dei risultati e confronto con le simulazioni numeriche	67
4.4 Conclusioni	71
5 Presentazione del nuovo sistema EMZ	73
5.1 Introduzione al sistema	73
5.2 Punti di blocco	78
5.3 Controllo ottico sulla posizione della vaschetta	81
5.4 Controllo della quantità di ghiaccio stoccata	85
5.5 Progettazione del contenitore	85
5.6 Presentazione e analisi dei risultati delle simulazioni numeriche	87
6 Analisi energetica del sistema ice-maker	95
6.1 Cenni di fluidodinamica computazionale	95
6.1.1 Cenni di turbolenza	96
6.1.2 Il metodo RANS $k-\varepsilon$	98
6.1.3 Il modello EVM $k-\varepsilon$	100
6.1.4 Modelli di parete: wall functions e low Reynolds models	101
6.1.5 Equazione dell'energia	103

6.2 EMZ ice maker mesh	105
6.3 Condizioni al contorno e strategia di simulazione	107
6.4 Risultati per l'ice maker in configurazione standard senza e con NTC holder	108
6.5 Ottimizzazione del disegno standard, revisione dell'inlet e posizionamento dell'holder. . . .	111
6.6 Set-up sperimentale e misure:performance inlet standard e nuovo design	116
6.7 Conclusioni	119
Conclusioni	120
Bibliografia	122
Appendici	125

Introduzione

La presente tesi descrive il lavoro svolto nel corso dello stage, della durata di sei mesi circa, presso l'azienda EMZ- Smart Solution con sede in Nabburg (Germania) che opera prevalentemente nel settore del bianco, progettando e sviluppando per esso componenti elettromeccanici ed elettrici.

Lo studio condotto riguarda l'ottimizzazione strutturale ed energetica di un sistema per la produzione automatica di cubetti di ghiaccio sulla base delle tecnologie attualmente presenti sul mercato.

In particolare si presenta l'ottimizzazione del sistema di trasmissione a ruote dentate e si propone una soluzione progettuale che, mantenendo o migliorandone le performances di analoghi sistemi presenti sul mercato, sia innovativa e consenta di aggirare eventuali patent infringement .

Il sistema da cui ha avuto origine il lavoro è quello ideato da Sankyo Nidec. Questo sistema è progettato in modo tale da realizzare la formazione e la successiva rimozione automatica dei cubetti di ghiaccio, mediante un movimento di torsione generato da un motore e trasferito lungo l'asse del contenitore tramite un sistema di trasmissione a ruote dentate. Il tutto è realizzato grazie all'accoppiamento tra gear-box e vaschetta porta cubetti.

Sulla base delle considerazioni derivanti da un'accurata analisi brevettuale, oltre che dai risultati delle simulazioni strutturali condotte sull'attuale configurazione è stata sviluppata una nuova trasmissione, più semplice, più compatta ma soprattutto più resistente del sistema attualmente presente sul mercato.

Nella seconda parte del lavoro si affronta l'analisi energetica del sistema, focalizzando l'attenzione sul processo di formazione del ghiaccio. In particolare si valutano, dal punto di vista numerico (CFD) e sperimentale, le performance della configurazione correntemente in produzione al fine di identificare le aree critiche del sistema e di sviluppare, così, tutte le modifiche necessarie ad incrementare le prestazioni globali del sistema, in termini di aumento del coefficiente di scambio termico alla parete e conseguente riduzione dei tempi di formazione del ghiaccio.

Per quanto riguarda la struttura del lavoro, nel capitolo 1 viene presentata l'intera unità per la produzione automatica dei cubetti di ghiaccio di proprietà EMZ; vengono analizzati, nel dettaglio, i singoli componenti e il principio di funzionamento che regola il sistema nel suo complesso.

Nel capitolo 2, dopo un breve richiamo alle tipologie di ingranaggio presenti nel sistema oggetto di studio, viene descritta, con particolare attenzione, la gear box Sankyo Nidec contenente il sistema di trasmissione a ruote dentate; vengono, infine, presentati i risultati della ricerca brevettuale condotta su tale componente.

Il capitolo 3 presenta le linee generali seguite per l'impostazione delle simulazioni statiche strutturali basate sul metodo FEM (Finite Element Method).

Nel quarto capitolo vengono presentati e analizzati i risultati delle simulazioni numeriche condotte sul sistema nelle differenti condizioni di carico, nominale e ridotto, e in due diverse condizioni operative valutando la risposta del sistema e, quindi, la sensibilità delle proprietà dei materiali alla variazione di temperatura ($T=20^{\circ}\text{C}$ e $T=-20^{\circ}\text{C}$). In particolare si valuta l'andamento della tensione equivalente di Von Mises e la distribuzione del coefficiente di sicurezza nelle aree del sistema

maggiormente sollecitate. I risultati delle simulazioni numeriche vengono confrontati con i valori calcolati analiticamente applicando la formula di Lewis per la verifica a fatica al fine di dimostrare l'attendibilità del modello sviluppato.

Il capitolo 5 riporta una descrizione dettagliata del nuovo sistema di trasmissione sviluppato, ponendo particolare attenzione sulla logica di progettazione dei singoli componenti e sulle differenti tipologie di controllo pensate per realizzare un funzionamento globale efficiente. Si riportano, quindi, i risultati delle simulazioni numeriche condotte sul sistema a dimostrazione del fatto che il sistema, così concepito, rispetti i vincoli di performance imposti garantendo, allo stesso tempo, una migliore risposta in termini di resistenza meccanica in seguito all'applicazione del carico.

Il capitolo 6, sulla base di un'iniziale introduzione alla fluidodinamica computazionale, si propone di affrontare l'analisi energetica del sistema attualmente sul mercato. Vengono stimate tutte le grandezze necessarie a descrivere i fenomeni di scambio termico che interessano la parete della vaschetta e, di conseguenza, che influenzano il processo di formazione del ghiaccio; sulla base di tali valori e sull'identificazione delle aree critiche, vengono suggeriti opportuni accorgimenti atti a migliorare le performance globali del sistema.