



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Ingegneria Civile ed Industriale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Discretizzazione di superfici per analisi CFD: messa a punto di un modulo automatico per la modellazione di assiemi complessi.

Laureando:

Daniele Cortis

Relatore:

Ing. Francesca Campana

Correlatore:

Ing. Sergio Pirozzoli

Anno Accademico 2012/13

*La teoria è quando si sa tutto e niente funziona. La pratica è quando tutto funziona
e nessuno sa il perché. Noi abbiamo messo insieme la teoria e la pratica:
non c'è niente che funzioni... e nessuno sa il perché!*

Albert Einstein

Indice

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| Introduzione..... | 6 |
| | |
| CAPITOLO 1 Il progetto Blood Hound | 9 |
| 1.1 La sfida scientifica ed ingegneristica | 9 |
| 1.2 Le caratteristiche del veicolo | 12 |
| 1.3 L'aerodinamica supersonica..... | 14 |
| | |
| CAPITOLO 2 Dallo standard JT al formato STL..... | 17 |
| 2.1 Il formato file JT, uno standard internazionale | 17 |
| 2.1.1 <i>Il background industriale</i> | <i>18</i> |
| 2.1.2 <i>Le caratteristiche principali del formato.....</i> | <i>19</i> |
| 2.1.3 <i>La struttura del file JT (versione 9.5 Rev-D)</i> | <i>20</i> |
| 2.1.3.1 <i>File Header</i> | <i>21</i> |
| 2.1.3.2 <i>TOC Segment</i> | <i>22</i> |
| 2.1.3.3 <i>Data Segment</i> | <i>23</i> |
| 2.1.3.4 <i>Compressione e codifica dei dati.....</i> | <i>26</i> |
| 2.1.4 <i>Il modello CAD del progetto Blood Hound</i> | <i>27</i> |
| 2.2 L'esigenza di avere il formato STL | 28 |
| 2.2.1 <i>Caratteristiche del formato STL</i> | <i>28</i> |
| 2.2.2 <i>Qualità della mesh STL.....</i> | <i>30</i> |
| | |
| CAPITOLO 3 I principi base del modulo di calcolo CFD | 32 |
| 3.1 Introduzione alla fluidodinamica computazionale | 32 |
| 3.2 Il metodo dell'Immerse Boundary | 35 |
| 3.2.1 <i>Interpolazione della soluzione</i> | <i>36</i> |
| 3.2.2 <i>Descrizione delle superfici dei corpi</i> | <i>38</i> |
| 3.2.3 <i>Affinamento della griglia di calcolo</i> | <i>39</i> |

| | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| CAPITOLO 4 | La conversione del file JT in una mesh STL | 41 |
| 4.1 | Introduzione ad Altair - HyperMesh | 41 |
| 4.2 | Importazione ed esportazione dei file | 44 |
| 4.2.1 | <i>JT reader</i> | 45 |
| 4.2.2 | <i>STL export template</i> | 49 |
| 4.2.3 | <i>Parametri di configurazione adottati</i> | 51 |
| 4.3 | La riparazione del modello CAD | 52 |
| 4.3.1 | <i>La terminologia in HyperMesh</i> | 53 |
| 4.3.2 | <i>Geometry Cleanup</i> | 57 |
| 4.3.3 | <i>Creazione della mesh</i> | 60 |
| 4.4 | Proceduralizzazione del processo di creazione della mesh STL..... | 62 |
| 4.4.1 | <i>Definizione della procedura</i> | 62 |
| 4.4.2 | <i>Algoritmo di riparazione</i> | 64 |
| 4.5 | La mesh finale del veicolo Blood Hound | 65 |
| CAPITOLO 5 | Automazione del processo di conversione | 68 |
| 5.1 | Realizzazione di una macro in HyperMesh | 68 |
| 5.1.1 | <i>Il file command.cmf</i> | 68 |
| 5.1.2 | <i>Gli script Tcl/Tk</i> | 71 |
| 5.1.3 | <i>La creazione di un menu e la gestione dei file di una macro</i> | 72 |
| 5.2 | Logiche e modalità di programmazione..... | 75 |
| 5.2.1 | <i>I file della macro</i> | 76 |
| 5.2.2 | <i>Il menu grafico</i> | 81 |
| 5.3 | Possibilità e campo di applicazione della macro..... | 85 |
| CAPITOLO 6 | L'analisi fluidodinamica | 86 |
| 6.1 | Impostazione della simulazione | 86 |
| 6.2 | Analisi dei risultati | 88 |
| Conclusioni..... | | 95 |
| Riferimenti Bibliografici..... | | 98 |

Introduzione

Storicamente il termine CAE (*Computer Aided Engineering*) è stato associato all'analisi agli elementi finiti FEM (*Finite Element Method*) mentre, attualmente, può essere inteso in maniera più ampia come l'insieme dei codici di calcolo in grado di effettuare simulazioni del comportamento fisico di componenti o assiemi. Tra questi, il codice FEM rappresenta senza dubbio lo strumento principale di simulazione a cui nel tempo si sono andate ad aggiungere altre metodologie, come ad esempio il calcolo fluidodinamico computerizzato CFD (*Computational Fluid Dynamics*). In questi termini rientrano quindi nel termine CAE tutti gli strumenti di simulazione numerica che adottano modelli matematici discreti.

Tutte le tipologie di simulazione CAE operano secondo tre fasi successive: una prima fase di preparazione dei dati di input geometrici e fisici detta *pre-processing*; una fase di calcolo in cui opera il codice scelto detta *soluzione del problema*; una fase finale di visualizzazione ed analisi dei risultati detta *post-processing*. Nella pratica attuale il progettista si concentra prevalentemente nella fase preliminare di preparazione dei dati e nella fase finale di analisi critica dei risultati. Una corretta definizione degli input numerici e della geometria del modello CAD per il codice di calcolo adottato, rappresenta quindi la parte fondamentale di tutto il processo di simulazione.

In tale contesto si inserisce la presente trattazione, il cui scopo è quello di proceduralizzare il processo di creazione di una mesh per un modulo di calcolo fluidodinamico, che utilizza come file di input superfici tessellate in formato STL, a partire da un modello CAD di un assieme complesso disponibile nello standard internazionale JT.

La geometria utilizzata come input per lo sviluppo della procedura di meshing si riferisce al modello CAD del veicolo supersonico BLOODHOUND, veicolo terrestre il cui scopo è quello di raggiungere e superare la velocità record di mille miglia orarie [*Capitolo 1*].

Il suddetto modello CAD è distribuito al pubblico attraverso un file di assieme in formato JT, formato recentemente entrato a far parte degli standard internazionali ISO. Nasce quindi l'esigenza di convertire tale modello in una superficie tessellata STL [*Capitolo 2*] per renderlo compatibile con il modulo di calcolo CFD basato metodo dell'Immerse Boundary [*Capitolo 3*].

L'ambiente utilizzato per tale conversione è un pre-processor universale, Altair HyperMesh, che consente di combinare le diverse interfacce CAD-CAE. In tale contesto viene sviluppata una apposita procedura per la generazione delle mesh finale [*Capitolo 4*].

La possibilità di creare dentro il pre-processor delle macro personalizzate, rende inoltre possibile l'automazione di alcune fasi della procedura sviluppata per l'applicazione del metodo a geometrie differenti da quella in esame [*Capitolo 5*].

Si conclude in fine lo studio con la presentazione dei risultati dell'analisi fluidodinamica effettuata dal *Prof. Sergio Pirozzoli* del Dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale dell'Università di Roma "La Sapienza", che ha sviluppato personalmente il modulo di calcolo CFD in oggetto [*Capitolo 6*].