

**Enrico Nobile**

*DIA - Dipartimento di Ingegneria e Architettura  
Università degli Studi di Trieste*

*Corso di Termofluidodinamica Computazionale*

**Regole e suggerimenti per la stesura dell'Elaborato Finale  
(Student Project)**



Gennaio 2019



# 1 Generalità

L'elaborato finale (*Student project* o *Tesina*), rappresenta una parte importante del corso di Termofluidodinamica Computazionale - TCFD nel seguito - e va perciò preparato con particolare cura, visto che, assieme agli esercizi proposti (*Homework*) ed alla prova orale, contribuirà al voto finale.

In particolare va posta attenzione ai seguenti aspetti:

- Chiarezza.
- Sintesi.
- Completezza.
- Qualità.

## 2 Caratteristiche

Lo *Student Project*, di norma, può essere di due tipologie:

1. Analisi di un problema termofluidodinamico.
2. Sviluppo di un codice/applicazione.

Vediamone le caratteristiche in dettaglio.

### 2.1 Analisi di un problema termofluidodinamico

Tale analisi può svolgersi tramite la suite ANSYS CFD<sup>®</sup>, in particolare utilizzando alternativamente ANSYS Fluent<sup>®</sup> o ANSYS CFX<sup>®</sup>, assieme, eventualmente, al meshatore ANSYS ICEM CFD<sup>®</sup>. In alternativa, dall'AA 2012-13, è possibile utilizzare il toolbox OpenSource *OpenFOAM*, anche in tal caso utilizzando eventualmente ANSYS ICEM CFD<sup>®</sup> come generatore di griglia.

In ambedue i casi, va osservato che:

- Il problema scelto, nell'interesse dello studente, va concordato con il docente: è infatti comune scegliere problemi stimolanti e di rilevante interesse applicativo, che tuttavia richiedono uno sforzo, da parte dello studente, e possibilmente risorse di calcolo, notevolmente superiori a quelle previste per tale attività. Si raccomanda di osservare scrupolosamente tale regola: elaborati su argomenti non preventivamente concordati non saranno accettati, e non sarà perciò possibile sostenere il colloquio orale.
- La scelta del problema da analizzare potrà anche venir suggerita da altri docenti, e potrebbe svolgersi in sinergia con analoghi progetti richiesti in altri corsi.
- È comunque compito dello studente individuare, assieme ai colleghi con i quali verrà svolto il lavoro (v. oltre) uno o (meglio) più possibili problemi da affrontare, che verranno poi discussi con i docenti, individuando infine quello più idoneo.

- Vanno in ogni caso evitati atteggiamenti passivi, tipo *Professore, non sappiamo cosa fare, può suggerircelo lei ?*

## 2.2 Sviluppo di un codice/applicazione

In alternativa, è possibile procedere allo sviluppo *autonomo*, attraverso un linguaggio per prototipazione rapida (comunemente MATLAB<sup>®</sup>, Scilab, Python etc.) o generico a scelta dello studente, di un codice/applicazione rivolta ad un problema specifico. Anche in tal caso la scelta del problema e le modalità di sviluppo vanno attentamente concordate con i docenti, al fine di evitare lunghe attività di sviluppo.

## 3 Scelta del problema

Nel caso più comune nel quale lo *Student Project* riguardi l'Analisi di un problema termofluidodinamico, la scelta del problema va affrontata:

- Privilegiando la disponibilità di dati puntuali oltre alle grandezze globali (es. *profili di velocità* oltre al *drag coefficient*; *profili di temperatura* oltre al *coefficiente di scambio termico convettivo*, etc.).
- Scegliendo opportunamente la fonte (rivista ISI, report di Istituzione qualificata, etc.), evitando fonti e documenti anonimi e/o di dubbia qualità, facilmente reperibili in rete.
- Preferendo dati sperimentali e scartando, se possibile, risultati *solo* numerici, in modo da privilegiare il confronto *CFD-Sperimentale* rispetto a quello *CFD-CFD*. Ovviamente, confronti nei quali, oltre ai dati sperimentali, siano inclusi anche risultati numerici, saranno particolarmente apprezzati, in quanto lo studente avrà modo di confrontarsi, pur nei limiti delle ridotte risorse computazionali e del poco tempo disponibile, con quanto ottenuto attraverso simulazioni da altri autori.
- Non trascurando la letteratura più *datata*: geometrie più semplici, spesso maggior cura ed affidabilità etc.

Nel caso si scelga il problema da analizzare sulla base di documenti - testi, articoli, report - che riportano il risultato di rilievi sperimentali, è necessario verificare preventivamente che le informazioni fornite siano complete e sufficienti a riprodurre compiutamente l'esperimento. Si citano, ad esempio:

- Descrizione completa della geometria (riproducibilità attraverso CAD/modellatore solido, o disponibilità dei files CAD della geometria).
- Proprietà termofisiche (fluido, temperatura alla quale è stato eseguito l'esperimento).
- Condizioni al contorno e, se necessarie, condizioni iniziali.
- Grado di accuratezza delle misure (se disponibile).

## 4 Finalità

Gli obiettivi dello *Student Project* sono molteplici:

- Dimostrare la capacità dello studente di affrontare un problema termofluidodinamico utilizzando metodologie di simulazione avanzata.
- Sviluppare capacità di lavorare in team.
- Sviluppare l'attitudine al *problem solving*: nel corso del progetto, capita spesso di affrontare problemi di varia natura, quali, a titolo di esempio, difficoltà di convergenza, dubbi interpretativi, scarso accordo con i dati sperimentali o con i risultati numerici di altri autori, etc.
- Verificare *hands-on* potenzialità e limiti della CFD, con l'avvertenza che, viste le limitate risorse di calcolo, tale verifica è solo parziale, e suggerisce perciò - nuovamente - di privilegiare problemi di limitata complessità.
- Apprendere una metodologia il più possibile rigorosa per l'utilizzo di tecniche CFD, ma di validità generale per altre applicazioni CAE (Computer Aided Engineering), quali ad esempio analisi strutturali statiche e dinamiche, calcolo elettromagnetico etc.

## 5 Modalità

- Di norma lo *Student Project* va svolto, preferibilmente, in gruppi di 2-3 studenti (max. 3 studenti per gruppo, salvo accordi con il docente).
- Esso, una volta redatto, va inviato, in formato *PDF*, *almeno due settimane prima della prova orale*, in modo da consentire al docente un'accurata lettura e giudizio dell'elaborato, e va consegnata una copia cartacea in tale occasione.
- Il colloquio orale verterà sulla discussione dell'elaborato, su eventuali chiarimenti al riguardo della soluzione degli esercizi proposti e su due o più quesiti scelti fra gli argomenti trattati a lezione.
- Dall'AA 2011-12 lo *Student project* non viene più commentato (correzione preventiva) prima della prova orale, e non vengono più suggerite modifiche da parte del docente:
  - La sua valutazione - positiva o negativa - costituisce parte integrante del voto d'esame, assieme al colloquio orale e al giudizio sugli esercizi proposti (Homework).
  - Da parte dei docenti è garantito solo un *limitato* supporto nella messa a punto del modello numerico, in particolare per ciò che riguarda la scelta del dominio, le condizioni al contorno ed i modelli di turbolenza.
  - È disponibile, sul sito del corso, un esempio di *Student Project* preparato dai docenti.
  - È anche disponibile, sullo stesso sito, un *template*  $\LaTeX$  da usare per la redazione del progetto.

## 6 Caratteristiche dell'elaborato

Uno degli aspetti da privilegiare nella redazione dell'elaborato è senz'altro la sintesi. A tal riguardo, la lunghezza massima del documento non dovrebbe superare, indicativamente, le 12-15 pagine.

## 7 Struttura del documento

La struttura del documento - come già indicato è disponibile un *template* L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X- dovrebbe, nell'ordine, essere così composta:

1. Nella prima pagina:

- *Titolo del problema studiato*: questo, pur breve, dovrebbe consentire di individuare immediatamente il problema/argomento affrontato.
- *Nome e cognome degli autori, corso di studio, nome del corso* - Termofluidodinamica Computazionale - ed indicazione dell'*Anno Accademico* nel quale lo studente ha ufficialmente seguito il corso.

2. Nella seconda pagina:

- *Sommario*, di non più di 200 parole, del lavoro svolto.

3. Nella terza pagina e successive:

- *Introduzione*, nella quale è brevemente illustrato il problema in esame, corredata anche dell'indicazione delle fonti - testi, articoli etc. - dalle quali sono stati reperiti i dati di confronto.
- *Descrizione del problema*, che dovrebbe includere:
  - Geometria del dominio di calcolo.
  - Proprietà termofisiche dei materiali.
  - Condizioni al contorno adottate.
  - Descrizione dei modelli adottati (es. modello di turbolenza) e degli algoritmi utilizzati nelle analisi (es. schemi di discretizzazione spaziale e temporale, intervallo temporale d'integrazione etc.)
  - Caratteristiche (num. Nodi/Elementi, indici di qualità se disponibili) e modalità di generazione delle griglie.
- *Risultati e commenti*, che dovrebbero includere:
  - Valutazione dell'errore di convergenza.
  - Valutazione/stima dell'errore di discretizzazione spaziale (e/o temporale). In molti casi, viste le limitazioni della piattaforma di calcolo adottata - laptop in modalità seriale - e della licenza didattica, che non consente di adottare griglie con un numero di nodi superiore ad un limite prefissato, potrebbe risultare impossibile ottenere soluzioni *grid-independent*: ciò deve essere indicato nell'elaborato.

- Valutazione dell'errore di modellazione, attraverso il confronto con i dati di riferimento.
- *Considerazioni conclusive*, di non più di 250 parole, in cui si mettono in evidenza gli aspetti più importanti - secondo il punto di vista degli autori - del lavoro svolto (esempio: buono o cattivo accordo con dati sperimentali, difficoltà incontrate, suggerimenti per migliorare la qualità delle previsioni etc.) Si raccomanda di riportare chiaramente il confronto fra i risultati ottenuti e quelli di riferimento.
- *Riferimenti bibliografici*.
- Eventuale *Appendice*.

## 8 Suggerimenti ed errori comuni

Per migliorare la qualità e la leggibilità del documento, si suggerisce di seguire le seguenti indicazioni:

- Privilegiare gli aspetti quantitativi, tabelle e grafici, rispetto agli aspetti qualitativi (visualizzazioni), inserendo queste ultime solo dove ritenuto necessario o utile per descrivere aspetti salienti del problema in esame.
- Non aver timore di descrivere eventuali difficoltà riscontrate, assieme a suggerimenti per affrontare nuovamente lo stesso problema, o casi simili.
- Adottare dimensioni leggibili dei font delle figure. Questi dovrebbero essere delle stesse dimensioni - al più leggermente più piccoli - del font utilizzato nel testo scritto.
- Nei grafici, al fine di consentire stampe o copie in bianco e nero, non si dovrebbe fare affidamento a colori diversi, ma piuttosto utilizzare *linee* e *markers* (simboli) diversi.
- Si suggerisce di utilizzare solo i *markers* per rappresentare dati sperimentali, e solo linee per i risultati delle simulazioni, in modo da rendere immediato, dal punto di vista visuale, il confronto *Numerico-Sperimentale*.
- Utilizzare figure a colori solo quando necessario. Queste, al fine di migliorarne la leggibilità, e ridurre i costi di stampa, dovrebbero essere prodotte utilizzando una risoluzione adeguata (si ricordi che la risoluzione del video è sensibilmente inferiore a quella delle stampanti ink-jet o laser), ed uno sfondo bianco, come indicato in figura 1. Nell'exportazione delle figure, al fine di evitare l'effetto *scalettatura*, è opportuno attivare, ove disponibile, l'opzione *anti-aliasing*, come illustrato in figura 1.

Gli errori più comuni sono elencati nel seguito:

- Mancata applicazione delle *Regole e suggerimenti per la stesura dell'Elaborato Finale (Student Project)* riportate qua.
- Utilizzo di *scale colori (limiti)* diverse nel confronto di due soluzioni numeriche o confronto fra soluzione numerica e dati sperimentali.

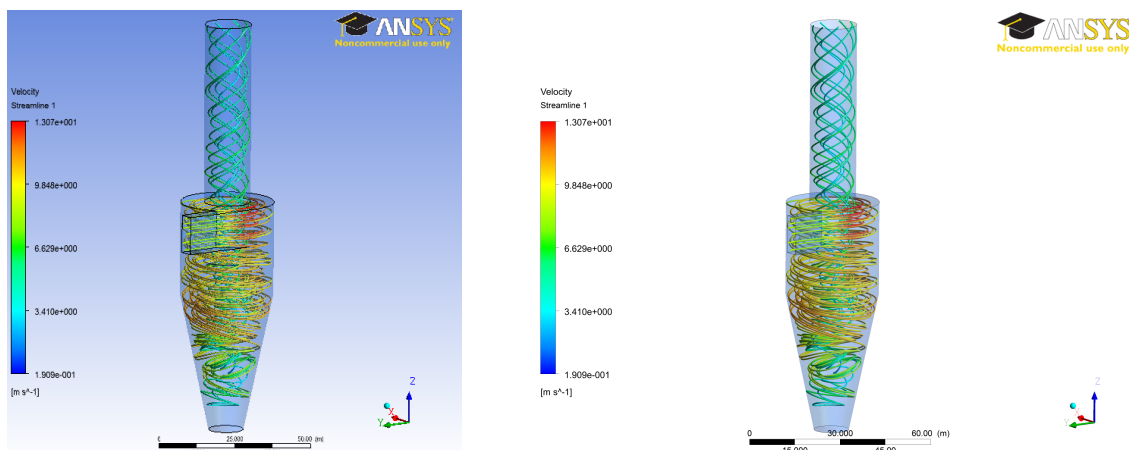


Figura 1: Immagini ottenute dal post-processing: a sinistra con sfondo colorato, risoluzione ridotta e *anti-aliasing* (enhanced edges) non attivato: a destra la stessa immagine con sfondo bianco, risoluzione maggiore ed *anti-aliasing* attivato.

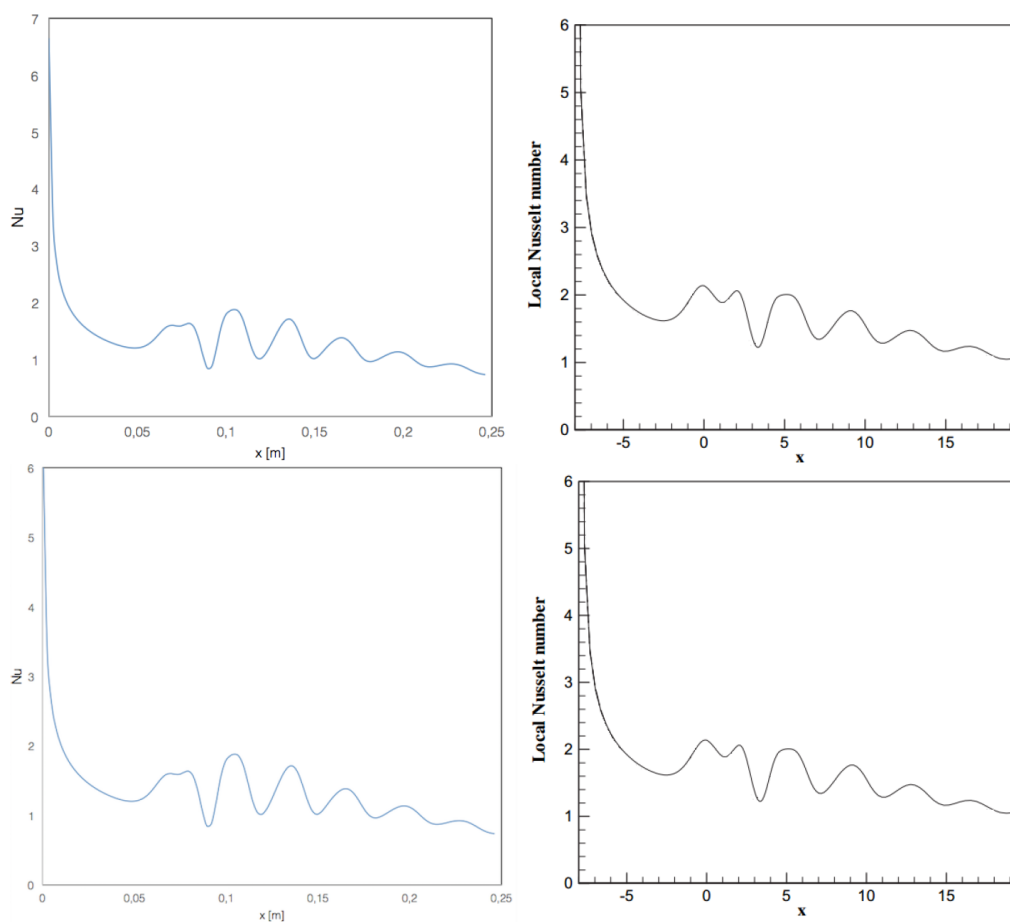


Figura 2: Confronto di risultati: sopra uso errato di range diverso, sotto corretto utilizzo dello stesso range.



- Utilizzo di *range* diversi nei grafici nel confronto di schemi e/o risoluzioni diverse, come esemplificato in figura 2.
- Mancato utilizzo dell'istruzione MATLAB `axis equal` e conseguente figura distorta.
- Uso di font troppo piccoli - talvolta illeggibili - nei grafici e figure.
- Numero eccessivo di *streamline*, o scelta errata della zona di partenza, per illustrare ricircoli e separazioni.
- Formattazione errata delle tabelle: uso di linee verticali, numero eccessivo di linee orizzontali, colorazione inutile, copia-incolla di tabelle in formato immagine con risoluzione inadeguata, vedi figura 3.

	MESH A	MESH B	MESH C	MESH D
N° of Nodes	76956	109058	223054	496982
Attack angle	0	0	0	0
Static torque	5,806	5,804	5,855	5,622
[u] Free stream velocity	14	14	14	14
[p] Air density	1,225	1,225	1,225	1,225
[q <sub>ref</sub> ] Dynamic pressure	120,05	120,05	120,05	120,05
[h] Bucket height	1	1	1	1
[R] Bucket radius	0,4936	0,4936	0,4936	0,4936
[D] Rotor diameter	0,9872	0,9872	0,9872	0,9872
[A] Circular section area	0,9872	0,9872	0,9872	0,9872
[C <sub>q</sub> ] Torque coefficient	0,099	0,099	0,100	0,096

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Pitch	s	106.8	[mm]
Camber-line curvature radius		212.8	[mm]
Camber angle	$\theta$	65	[°]
Stagger angle	$\gamma$	20.5	[°]
Blade solidity	$\sigma$	2.14	[/]
Chord length	c	228.6	[mm]
Maximum thickness	$t_{max}$	12.5	[mm]
Leading and trailing edges curvature radius		0.9144	[mm]
Blade metal inlet angle	$\kappa_1$	53	[°]
Blade metal outlet angle	$\kappa_2$	-12	[°]

Figura 3: Formattazione tabelle: a sinistra tabella con errata formattazione, a destra tabella formattata correttamente.

- Mancato settaggio di background bianco/trasparente nelle figure colorate, come indicato nelle istruzioni.
- Uso di risoluzione insufficiente e mancato utilizzo dell'opzione *anti-alias* per le figure, che appaiono quindi sfocate/e scalinate (*jagged*).