

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE



*Dottorato di Ricerca in Tecnologie Chimiche ed Energetiche  
XXIII Ciclo*

Progetto di Ricerca:

## **Sviluppo di metodologie CFD per lo studio numerico della cavitazione**

Dottorando: dott. Mitja Morgut  
Tutore: prof. Enrico Nobile  
Sede: DINMA - Sez. di Fisica Tecnica, Università degli Studi di Trieste  
via A. Valerio 10, 34127 Trieste

### **1 Descrizione del progetto di ricerca**

La cavitazione è un fenomeno fisico che avviene nei liquidi e che implica la formazione, crescita e implosione di bolle (o cavità). Secondo le modalità di come essa viene prodotta la cavitazione può essere distinta, utilizzando la nomenclatura inglese in: *hydrodynamic cavitation*, *acoustic cavitation*, *optic cavitation*, *particle cavitation* [1].

In particolare, la cavitazione idrodinamica, considerata nel presente lavoro di ricerca (per brevità cavitazione) è un fenomeno fisico che viene prodotto dalle variazioni di pressione indotte nel liquido di lavoro dalla geometria del sistema. Più precisamente, nelle zone del sistema dove la pressione locale scende al di sotto di una determinata soglia critica di pressione, funzione dalle proprietà fisiche del liquido, all'interno di questo si formano delle zone di vapore che di seguito implodono o condensano nelle zone di maggiore pressione.

In generale la cavitazione è un fenomeno indesiderato e fonte di problemi. In dispositivi come eliche marine e timoni, turbine e pompe idrauliche, e tubazioni, la cavitazione può comportare perdita di prestazioni, emissione di rumore, vibrazioni e danneggiamento dei componenti. Per questo motivo avere a disposizione un valido strumento di previsione complementare e/o alternativo alle prove sperimentali, con il quale riuscire a prevedere in tempi relativamente brevi ed in modo accurato ed affidabile i fenomeni cavitativi, rappresenta, in ambito progettuale, un elemento di sicuro vantaggio.

Per questo motivo con questo progetto di ricerca si intende sviluppare delle opportune procedure di calcolo CFD (Computational Fluid Dynamics) per la previsione dei fenomeni cavitativi, cercando inoltre di capire come questi siano influenzati dalla geometria dei sistemi, dalle proprietà del liquido di lavoro, ed in che modo essi vadano ad incidere sul funzionamento dei dispositivi. Più precisamente, si intende simulare numericamente i fenomeni cavitativi stazionari e non in

flussi interni ed esterni, dapprima in 2D e di seguito in 3D. Nel caso 3D l'attenzione sarà focalizzata alle eliche marine, stante il notevole interesse da parte di aziende della regione, senza però tralasciare la possibilità di affrontare anche lo studio numerico delle prestazioni, in condizioni cavitative e non, di una pompa centrifuga o di una turbina idraulica.

Per validare le procedure di calcolo sviluppate l'idea è quella di utilizzare dei test case storici per i quali sono disponibili, oltre ai dati sperimentali, anche un discreto numero di soluzioni numeriche pubblicate da altri autori. Per questo motivo, a titolo di esempio, si pensa di utilizzare per la validazione dei casi 2D delle sezioni di Venturi [2], e diversi profili alari tra i quali presumibilmente anche il Naca66(mod) [3] ed il Naca0015 [4]. Nel caso delle eliche marine invece l'intenzione è quella di considerare tre distinte eliche tra le quali sicuramente l'elica E779A [5] e l'elica P5168 [6].

## 2 Strumenti

Lo sviluppo di una procedura di calcolo CFD viene generalmente effettuata seguendo l'ordine cronologico di seguito proposto:

1. generazione della geometria CAD
2. meshatura o generazione della griglia di calcolo
3. soluzione delle equazioni fluidodinamiche
4. elaborazione dei dati

In questo progetto di ricerca per coprire i quattro punti sopra menzionati saranno utilizzati i seguenti prodotti/strumenti.

**generazione della geometria CAD:** per modellare le geometrie si intende utilizzare due distinti modellatori solidi commerciali. Il modellatore DesignModeler presente in ANSYS-Workbench [7] ed il modellatore ThinkDesign [8]

**meshatore:** per generare le griglie di calcolo si pensa di utilizzare esclusivamente il tool di meshatura commerciale ANSYS ICEM CFD [7]. La scelta di ICEM è dettata dal fatto che la qualità della mesh gioca un ruolo fondamentale nell'accuratezza della soluzione numerica e per questo prodotto è già stata verificata la possibilità di creare delle mesh di qualità superiore, sia strutturate che ibride (tetraedri + prismi a parete)

**soluzione delle equazioni fluidodinamiche:** per risolvere le equazioni fluidodinamiche l'idea è quella di utilizzare inizialmente il codice commerciale ANSYS-CFX (per brevità CFX) [7] e di seguito sviluppare dei solutori alternativi e/o complementari con l'ausilio del OpenSource Toolbox OpenFOAM [9]

**elaborazione dei dati:** per elaborare i dati si pensa di utilizzare il Post-Processor di CFX , il post processor OpenSource *Paraview* [10] e Matlab [11].

### 3 Approfondimenti

Da alcune simulazioni preliminari effettuate con ANSYS-CFX è stata riscontrata la possibilità di poter ottenere con relativa semplicità, anche nel caso 3D, dei risultati qualitativamente validi. A titolo di esempio in fig. 1 si propone il confronto tra il pattern di cavitazione numerico ottenuto con CFX e quello sperimentale relativo al caso  $J = 0.71$ ,  $\sigma = 1.76$  [12], dove  $J$  rappresenta il coefficiente d'avanzo e  $\sigma$  il numero di cavitazione [13]. Il pattern di cavitazione di CFX è definito dalla isosuperficie delle frazione di vapore  $\alpha = 0.5$ .

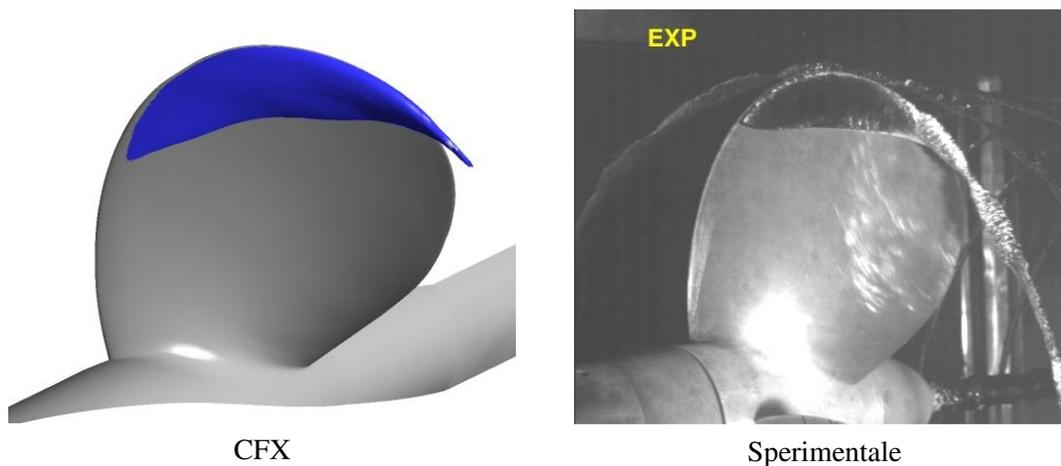


Figura 1: Pattern di cavitazione E779A,  $J = 0.71$ ,  $\sigma = 1.76$

Tuttavia la possibilità di ottenere delle soluzioni accurate, dal punto di vista quantitativo, sembra essere tutt'altro che semplice. Infatti relativamente a casi 2D sono state effettuate una serie di simulazioni preliminari che hanno evidenziato alcuni limiti del solutore.

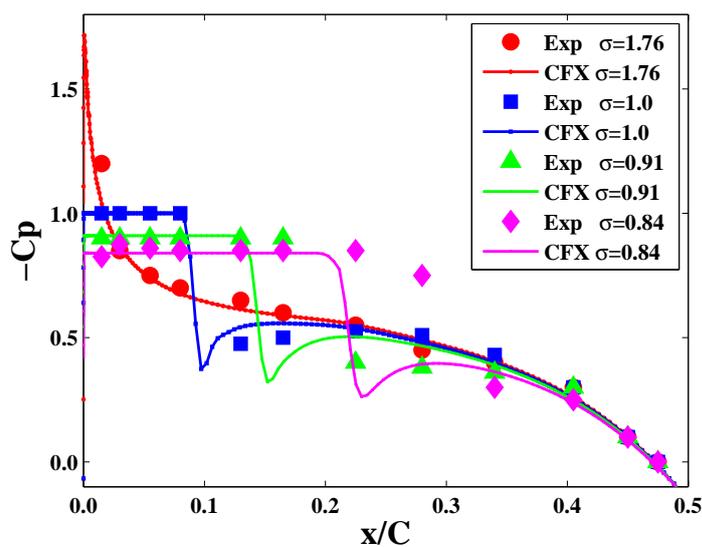


Figura 2: Naca66(mod), AoA= 4 deg, distribuzioni del  $-C_p$

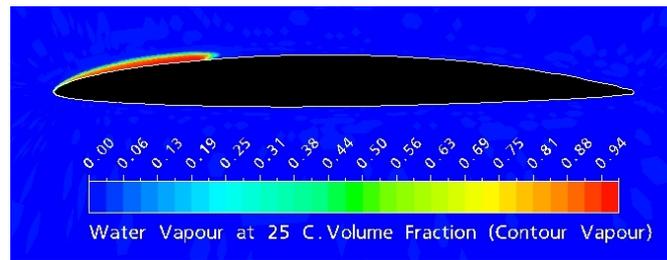


Figura 3: Naca66(mod), AoA= 4 deg, bolla di cavitazione per  $\sigma = 0.91$

Sempre a titolo di esempio, in fig. 2, si presentano le distribuzioni del coefficiente di pressione, rilevato sul dorso del profilo Naca66(mod), all'angolo di attacco di quattro gradi e a diversi regimi di cavitazione ( $\sigma$ ). In fig. 3 si presenta la bolla di cavitazione relativa al regime di cavitazione  $\sigma = 0.91$ . Dalla fig. 2 si può notare che con il diminuire del numero di cavitazione e la corrispondente crescita della bolla di cavitazione il risultato numerico si discosta sempre più da quello sperimentale. Questo fatto si pensa possa essere ricondotto al modello di cavitazione nativo di CFX [14].

Per questo motivo per migliorare la modellazione di questo problema, così come di casi sempre più complessi (come quello dell'elica), si pensa di implementare in CFX dei modelli di cavitazione aggiuntivi, quali il modello di Kunz [15] e di Singhal [16]. Tuttavia il modello di cavitazione nativo di CFX, così come quelli alternativi disponibili in letteratura per modellare l'evaporazione e la condensazione, si affidano a delle costanti empiriche che dovrebbero essere universali (idonee a modellare i diversi fenomeni cavitativi). Tuttavia data la complessità del fenomeno, per modellare con grande accuratezza i distinti fenomeni cavitativi le costanti empiriche sembra debbano essere opportunamente tarate. Poiché la taratura ottimale delle costanti empiriche è un'operazione tutt'altro che banale, per determinare le migliori combinazioni dei coefficienti dei distinti modelli di cavitazione l'intenzione è quella di sviluppare delle opportune procedure di ottimizzazione basate sul framework di ottimizzazione modeFRONTIER [17].

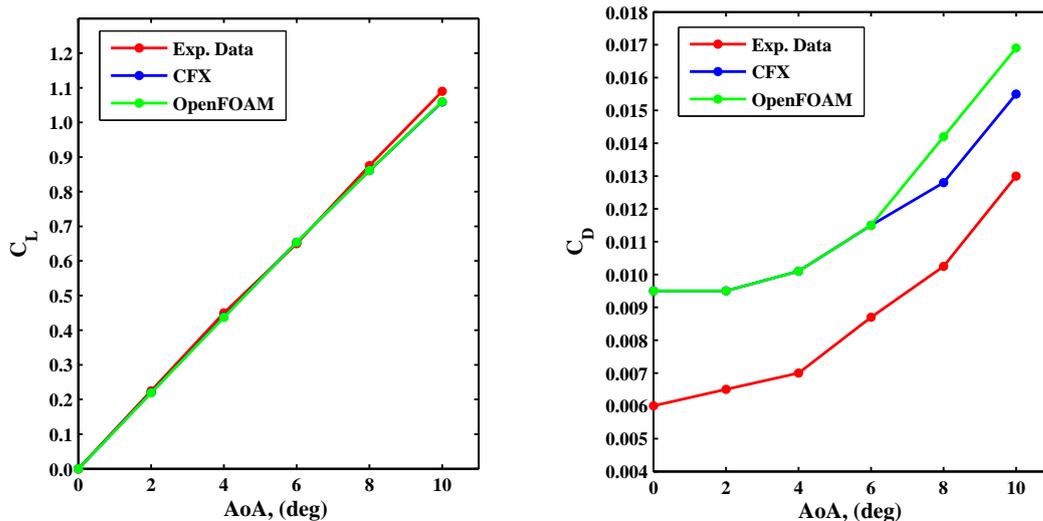


Figura 4: Caratteristiche aerodinamiche del profilo Naca0012

Infine come precedentemente menzionato, per risolvere numericamente le equazioni fluidodinamiche, si vorrebbe utilizzare oltre a CFX anche dei solutori alternativi e/o complementari sviluppati con l'ausilio del OpenSource Toolbox OpenFOAM. Si fa notare che OpenFOAM offre già nella sua distribuzione base, una vasta gamma di solutori, atti a risolvere un vasto scenario di problemi fluidodinamici. Per questo motivo per l'eventuale sviluppo di ulteriori codici di calcolo si pensa di non partire da zero ma di adattare alle esigenze del caso uno o più solver base, attraverso anche l'eventuale implementazione di ulteriori modelli di cavitazione. Inoltre poiché i solutori di OpenFOAM non sono affetti da costi di licenza, per ridurre i tempi di calcolo, non trascurabili, nel caso non stazionario e/o 3D si potrebbe ricorrere ad un numero superiore di processori, limitato solamente alle capacità della singola macchina o del cluster. Per giustificare la scelta di utilizzare, come solutore CFD alternativo, anche OpenFOAM, si propone il confronto tra CFX e OpenFOAM che è stato operato attraverso la valutazione delle caratteristiche aerodinamiche del profilo Naca0012 [18]. Come si può notare, dalla fig. 4, i risultati di OpenFOAM sono in linea con quelli di CFX.

## Riferimenti bibliografici

- [1] F. Ronald Young, *Cavitation*, Imperial College Press, London, 1989.
- [2] Coutier-Delgosha O., Rebound J., L., Delannoy, Y., (2003), Numerical simulation of the unsteady behavior of cavitating flows, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, vol. 42 (5), pp. 527-548, 2003
- [3] Shen Y.T. , Dimotakis, P.E., The influence of surface cavitation, *Proc. 22nd ATTC*, St. Johns, 1989
- [4] Kubota A., Kato H., Yamaguchi H., A new modelling of cavitating flows: a numerical study of unsteady cavitation on a hydrofoil section, *Journal of Fluids Mechanics* vol. 240, pp. 59-96.
- [5] The INSEAN E779A Propeller Dataset, INSEAN Propulsion and Cavitation Laboratory, 2006
- [6] Chesnakas, C., Jessup, S., Experimental Characterization of Propeller Tip Flow, *Proc. 22nd Symposium on Naval Hydrodynamics*, Washington, D.C., 1998.
- [7] [www.ansys.com](http://www.ansys.com)
- [8] [www.think3.com](http://www.think3.com)
- [9] [www.openfoam.com](http://www.openfoam.com)
- [10] [www.paraview.org](http://www.paraview.org)
- [11] [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)
- [12] Pereira, F., Salvatore, F., Di Felice, F., Measurement and Modeling of Propeller Cavitation in Uniform Inflow, *Journal of Fluids Engineering*, vol. 128, pp. 671-679.
- [13] Carlton J.S., *Marine Propellers and Propulsion*, Elsevier Ltd., Oxford, 2007

- [14] Zwart P., J., Gerber A., G., Belamri, T., A Two-Phase Model for Predicting Cavitation Dynamics, *ICMF 2004 International Conference on Multiphase Flow*, Yokohama, Japan, 2004
- [15] Kunz, R., Boger, F., Stinebring, D.R., Chyczewski, T.S., Lindau, J.W., Gibeling, H.J., Venkateswaran, S., Govindan, T.R., A preconditioned Navier-Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction, *Computers and Fluids* 29(8), pp.849-875, 2000
- [16] Singhal, A.K., Athavale, M.M., Li, H., Jiang, Y., Mathematical Basis and Validation of the Full Cavitation Model, *Journal of Fluids Engineering*, vol. 126, pp. 617-624, 2002
- [17] [www.esteco.com](http://www.esteco.com)
- [18] Abbott, I.H., Von Doenhoff, A.E., *Theory of Wing Sections*, Dover Publications, Inc., New York, 1959