

## STUDIO DELLA SCIA DI UN ELICA TRAMITE PIV

**M. Elefante, M. Soave**

C.E.I.M.M. (Centro Esperienze Idrodinamiche Marina Militare), via di Vallerano 149, 00128 Roma  
e-mail: ceimm@insean.it

**F. Di Felice**

INSEAN (Istituto Nazionale Studi Esperienze Architettura Navale), via di Vallerano 139, 00128 Roma  
e-mail: f.difelice@insean.it

**G. Romano**

Università "La Sapienza", via Eudossiana 8, Roma

L'accurata investigazione sperimentale della scia di un elica ha un ruolo fondamentale nel progetto e nelle procedure di valutazione delle prestazioni di un sistema propulsivo.

Il rilievo delle scia può essere utilizzato sia per la verifica delle specifiche progettuali (ad esempio utilizzando i coefficienti di resistenza dedotti per le sezioni di pala e la distribuzione di circolazione, come da Kobayashi 1982 e Jessup 1989), come pure per acquisire informazioni per un approccio progettuale di diversa concezione. La crescente complessità della geometria delle pale dell'elica, dovuta alle pressanti esigenze di ridotta generazione di rumore, vibrazioni dello scafo indotte dall'elica e contenuta caduta di rendimento per fenomeni cavitativi, hanno comportato un crescente interesse nelle misurazioni del campo della velocità del flusso. Inoltre tali informazioni sono importanti ai fini della validazione dei codici di calcolo numerici esistenti. La maggior parte dei metodi numerici per lo studio dell'elica sono basati su teorie potenziali o su modelli di scia semplificati. Tuttavia si ritiene che, allo scopo di migliorare l'accuratezza delle previsioni numeriche, sia necessaria una dettagliata rappresentazione degli aspetti viscosi (Kabayashi 1982, Jessup 1989) degli effetti del mozzo (Wabg 1985) e dell'effettivo campo di velocità indotto dalla scia (Hoshino 1989, Lanogrebe & Cheney). La disponibilità di affidabili e dettagliate misurazioni sperimentali, contribuirà al raggiungimento di tale obiettivo, fornendo delle linee guida per lo sviluppo e per la validazione di future teorie e codici numerici. La velocimetria Laser Doppler (LDV) è largamente utilizzata per misurare i campi di velocità della scia dell'elica, caratterizzati da forti gradienti di velocità ed elevati livelli di turbolenza. La maggior parte delle precedenti analisi LDV sono state focalizzate sulle caratteristiche della scia in sezioni trasversali e sono disponibili pochi esempi concernenti rilievi sperimentali dell'evoluzione longitudinale della scia (Stella 1998, Chesnak & Jessup 1998). Ciò è dovuto al fatto che la tecnica LDV consente un'acquisizione temporale molto efficiente in un punto per diverse posizioni angolari di pala, e quindi una facile ricostruzione del campo di flusso in una sezione trasversale, mentre il rilievo in senso longitudinale comporta un sensibile aumento del tempo di acquisizione dovuto al necessario spostamento attraverso diversi punti. Nel presente studio, tale problema è superato con l'utilizzo della tecnica PIV tramite la quale, viene effettuata l'analisi dell'evoluzione della scia dell'elica dal bordo di uscita fino a una distanza pari ad un diametro a valle. In questa regione le misurazioni PIV sono state acquisite per diverse posizioni angolari di pala per consentire la risoluzione dell'evoluzione della scia durante la rotazione dell'elica. I rilievi sono stati effettuati presso il tunnel di cavitazione del Centro Esperienze Idrodinamiche della Marina Militare (C.E.I.M.M.). Il tunnel ha una sezione di misura quadrata (0,6m x 0,6 m, lunghezza 2,6 m) munito di finestre in perspex per consentire il necessario accesso ottico per l'applicazione della tecnica PIV. In figura 1 è rappresentata una schematizzazione della sistemazione di prova. Il modello di elica, a quattro pale, è montato sull'asse di un dinamometro a montaggio frontale. Questa sistemazione del modello consente alla scia di evolvere liberamente nel senso del flusso. Un encoder montato sull'asse del dinamometro fornisce un segnale di "trigger" utilizzato per sincronizzare ad una determinata posizione angolare di pala la telecamera ed il laser Nd-Yag a doppia cavità. Il segnale video in uscita dalla telecamera (1k x 1k) viene inviato ad un computer equipaggiato con un sistema hardware di lettura delle immagini (frame grabber) che acquisisce e registra le immagini. La raccolta delle immagini è quindi analizzata mediante utilizzo di software

dedicato, in cui è implementato il metodo di correzione dell'errore di correlazione proposto da Hart (1998). Un processo di correlazione iterativo, effettuato mediante la tecnica dell'offset di finestra, viene ulteriormente utilizzato per ridurre iterativamente la dimensione della finestra di interrogazione con lo scopo di aumentare la risoluzione spaziale fino ad una finestra di 8 px x 8 px con risultati soddisfacenti, limitando il numero di vettori spuri a meno del 7% del numero totale di determinazioni. I rilievi, presentati in questa memoria, sono limitati all'evidenziazione della struttura della scia di un'elica navale a quattro pale in un piano longitudinale, a circa mezzo diametro dal disco dell'elica (figura 2). La PIV permette di catturare completi campi di velocità in pochi microsecondi, e quindi è attualmente l'unico metodo che permette il rilievo di strutture vorticose istantanee all'interno dell'incostante campo di flusso della scia di un'elica. La figura 3 mostra una rappresentazione grafica istantanea del campo di velocità ottenuto in un'area di osservazione di 150 x 150 mm, utilizzando la tecnica di crosscorrelazione con una finestra di lavoro di 16 x 16 px. La figura 4 mostra una rappresentazione grafica della vorticità riferita al campo di velocità della precedente figura. Attraverso tali rappresentazioni grafiche, è possibile evidenziare facilmente la struttura del vortice di estremità in un piano longitudinale, come pure la struttura della scia sviluppata dalla pala dell'elica. Utilizzando il segnale di trigger proveniente dall'encoder è possibile acquisire immagini in fase con l'elica e valutare il campo di velocità medio in fase. In fig. 5 viene mostrata l'evoluzione della vorticità lungo il piano longitudinale per diverse posizioni angolari di pala. Nella memoria saranno presentati i risultati degli esperimenti e discussi i campi di velocità e vorticità; saranno inoltre evidenziate alcune peculiari caratteristiche del campo di flusso dell'elica, ed in particolare:

- la scia viscosa dovuta allo strato limite sulle superfici delle pale.
- la scia potenziale generata dallo strato dei vortici al bordo di uscita della pala.
- La contrazione della vena fluida ed il suo inizio a riallargarsi a circa un diametro a valle del disco elica.
- L'instabilità del vortice di estremità che porta alla rottura del vortice più a valle, evidenziata dalla misura dell'ampiezza delle sue fluttuazioni spaziali.

La tecnica PIV, grazie alle sistemazioni adottate nel presente esperimento ed all'algoritmo di immagine adottato che raggiunge una finestra di analisi di 8 x 8 px, permette una buona risoluzione spaziale, dello stesso ordine di grandezza della tecnica LDV; ha quindi dimostrato di essere una metodologia idonea per l'investigazione del complicato campo di flusso nella scia di un'elica, fornendo ulteriori informazioni in confronto alla tecnica LDV.

## Bibliografia

1. Kobayashi S. (1982): "*Propeller wake survey by laser-Doppler velocimeter*", Proc. of the International Symposium on the Application of laser-Doppler Anemometry to Fluid mechanics, Lisbon, 195-208.
2. Jessup S.D. (1989): "*An experimental investigation of viscous aspects of propeller blade flow*", The Catholic University of America, Washington D.C.
3. Cenedese A., Accardo L., Milone R. (1985): "*Phase sampling techniques in the analysis of a propeller wake*", International Conference on Laser Anemometry Advances and Application, 16<sup>th</sup>-18<sup>th</sup> December 1985 Manchester (UK), 233-245.
4. Hoshino T., Oshima A. (1987): "*Measurement of flow field around propeller by using a 3-component laser Doppler velocimeter*", Mitsubishi Technical Review, Vol. 24, No.1.
5. Min. K.S. (1978): "*Numerical and Experimental methods for prediction of field point velocities around propeller blades*", MIT Ocean Engineering Dep., Rep. 78-12.
6. Stella A., Guj G., Di Felice F., Elefante M. (1998): "*Propeller wake evolution analysis by LDV*". ONR, 22th Symposium on Naval Hydrodynamics, Washington D.C.
7. Chesnack C., Jessup S. (1998): "*Experimental characterisation of propeller tip flow*". ONR, 22th Symposium on Naval Hydrodynamics, Washington D.C.

8. Hart D.P. (1998): "The elimination of Correlation errors in PIV Processing". 9<sup>th</sup> International Symposium of Laser Techniques to fluid Mechanics, Lisbon, Portugal. pp:13.3.1-13.3.8.
9. Westerweel J. (1997): "Fundamentals of digital particle image velocimetry", Meas. Sci. Technol. 8 1379-1392.
10. Westerweel J. (1994): "Efficient detection of spurious vectors in particle image velocimetry data". Experiments in Fluids 16,236-247.
11. Keane R.D., Adrian R.J. (1992): "Theory of cross-correlation analysis of PIV images". Applied Scientific Research, 49. pp:191-215.
12. Landreth, C.C. & Adrian R.J. (1990): "Impingement of a low Reynolds number turbulent circular jet onto a flat plate at normal incidence". Exp. Fluids 9, 74-84.

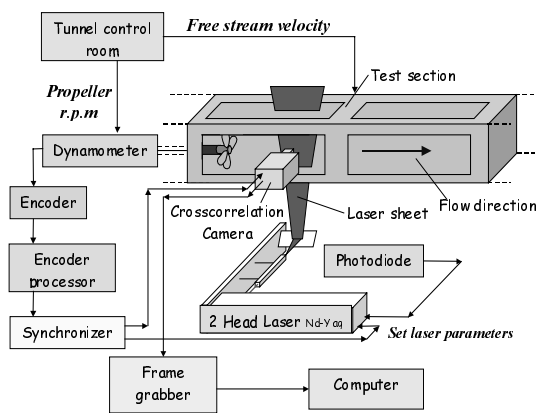


Figura 1 Set Up sperimentale

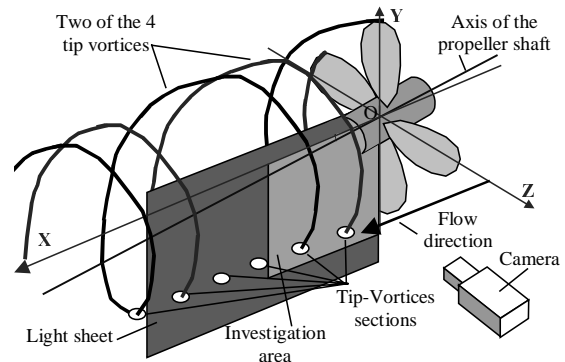


Figura 2 Piano di misurazione. Area di ripresa

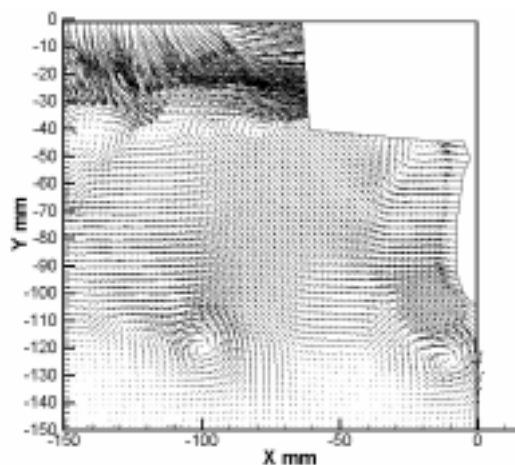


Figura 3 Campo di misurazione della velocità istantanea con angolo di fase=0°

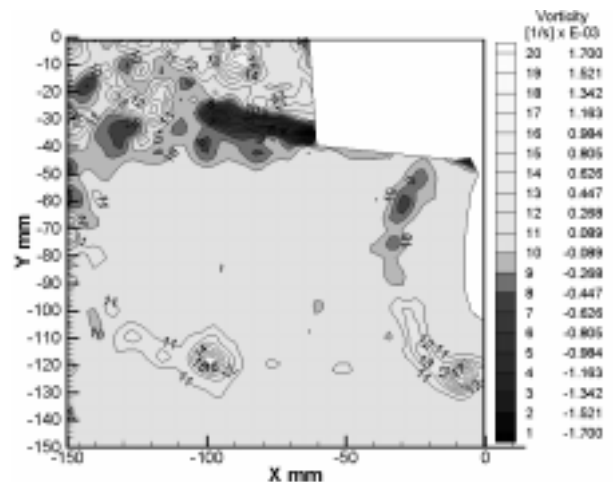
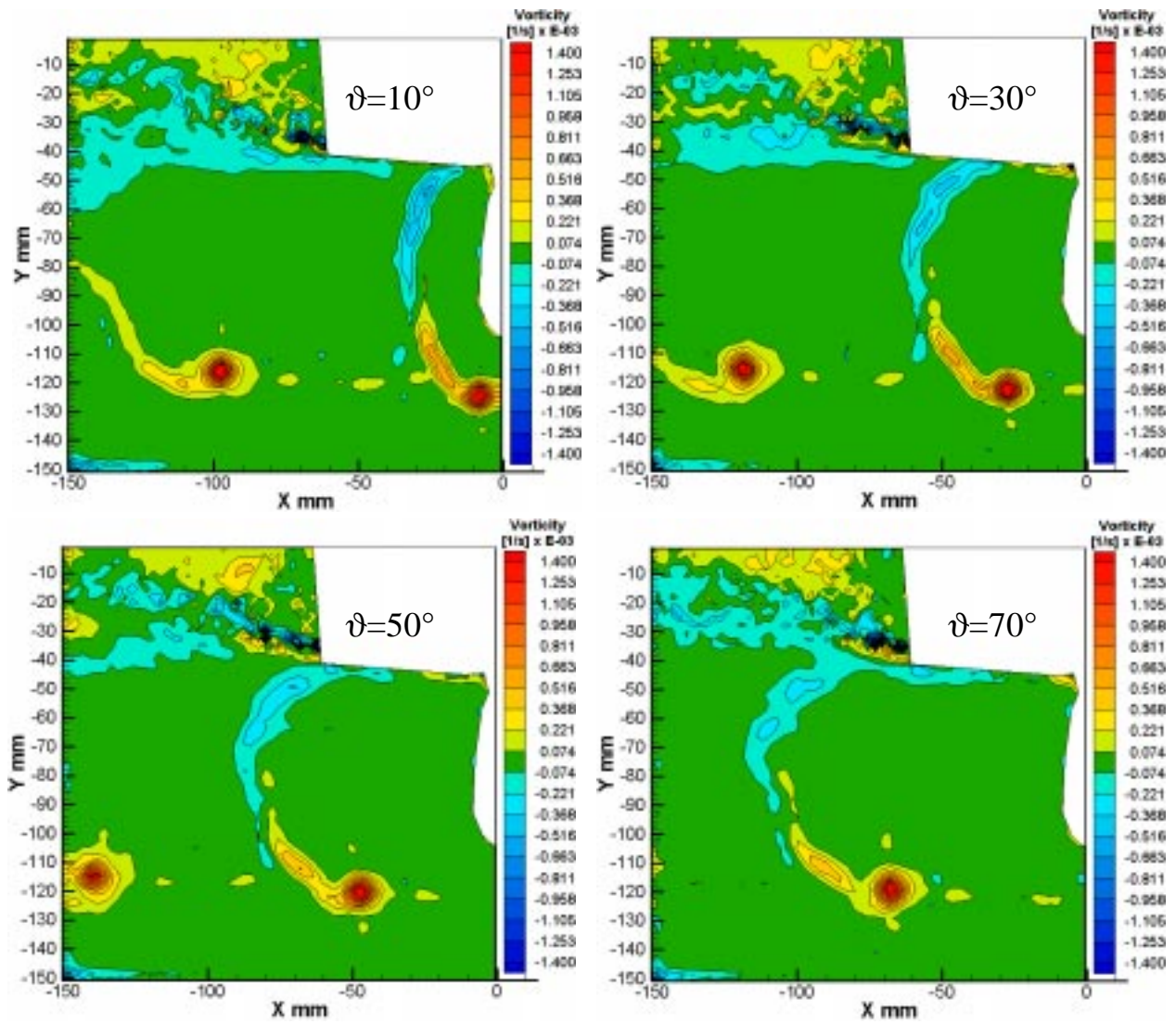


Figura 4 Campo di misurazione della vorticità istantanea con angolo di fase=0°



**Figura 5: Evoluzione della scia dell'elica. Isolivelli del campo di vorticità media a vari angoli di fase.**