

Approfondimento 11.1

Controllo attivo di moti fluidi

La capacità di modificare (*controllare*) un campo di moto fluido al fine di raggiungere un determinato obiettivo è considerata di grande importanza e, pertanto, sempre più spesso parte integrante dei processi di progettazione industriale. L'arte del controllo del flusso di fluidi risale alla preistoria, quando l'uomo tentava empiricamente di costruire lance o frecce il cui volo fosse sufficientemente stabile da consentire di colpire il bersaglio. Sono oggi disponibili approcci più scientifici per il controllo di un campo di moto fluido, la cui origine si deve senza dubbio a Ludwig Prandtl (1904), che segnò la strada in questo campo con i suoi lavori sullo strato limite, sui moti separati e sul loro controllo, in particolare attraverso l'uso di sistemi di suzione alla parete (*attuatori*).

Gli ambiti in cui si avverte la necessità di controllare il flusso di un fluido sono moltissimi, così come diversi possono essere gli obiettivi di tale controllo. A titolo di esempio citiamo le necessità di ritardare la transizione da stato laminare a turbolento, evitare la separazione dello strato limite, ridurre le resistenze al moto, aumentare la portanza, sopprimere la turbolenza, abbattere il rumore, incrementare gli scambi di calore e massa. I potenziali benefici in termini di riduzione di costi rendono questo ambito di ricerca particolarmente attraente per l'industria. Si pensi per esempio ai possibili vantaggi economici e ambientali che si potrebbero ottenere installando su voli di linea un sistema efficiente di controllo di flusso.

Nel corso dell'ultimo secolo, i settori in cui si è sentito l'interesse di sviluppare tecnologie di controllo di flussi sono stati numerosi. Nel periodo successivo alla Seconda Guerra Mondiale sono state dedicate molte risorse in ambito militare allo sviluppo di strumenti bellici, quali missili, navi, sistemi di manovrabilità degli aerei ... D'altro canto, la crisi degli anni 70 ha indotto la ricerca a trovare nuove strategie per limitare il consumo di energia, per

esempio riducendo le resistenze degli apparecchi di volo, negli impianti idraulici e in molti altri settori industriali (Gad-el-Hak, 2007).

Una delle principali difficoltà associate al controllo di flussi consiste nel fatto che gli obiettivi da raggiungere sono spesso più di uno e tra di loro interconnessi. Questo significa che quando si cerca di controllare un determinato fenomeno (per esempio la turbolenza all'interno di uno strato limite) è possibile che si peggiori la situazione relativa a un altro (per esempio la separazione dello strato limite). Il controllo di flussi è normalmente suddiviso in due categorie, basate su differenti strategie: controllo *attivo* e *passivo*.

Le strategie basate sul controllo passivo, anche denominate di "gestione del flusso", non hanno necessità di utilizzare potenza aggiuntiva rispetto a quella necessaria per generare il moto del fluido e includono: introduzione di opportuna scabrezza sulla parete o utilizzo di altri ostacoli, variazioni della geometria della parete, utilizzo di materiali porosi ... Le strategie di controllo attivo sono maggiormente diversificate e, usualmente, si dividono in controllo predeterminato (a ciclo aperto), in cui non si richiede una misura in tempo reale delle prestazioni del sistema, e controllo reattivo, in cui la strategia di controllo si basa su misure del flusso. In quest'ultimo caso, la classica teoria del controllo ottimo è stata recentemente applicata con buon successo in condizioni di moti idealizzati; tuttavia le applicazioni industriali di tali tecniche sono a oggi ancora limitate.

La scelta dell'attuatore è tipicamente condizionata dalla tipologia di moto (in particolare moto confinato o meno). Per moti in domini aperti vengono per esempio utilizzati altoparlanti che generano onde acustiche, turbolenza (ampiezza e spettro), sistemi magneto- ed elettro-idrodinamici. Gli attuatori montati sulle superfici includono: elementi di rugosità, sistemi di aspirazione del fluido alla



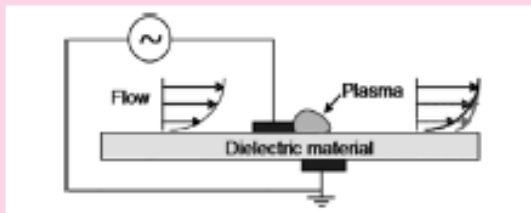


Figura 11.A1
Schizzo dell'attuatore di plasma.

parete, movimenti della parete stessa, effetti termici. Recentemente, sono stati proposti attuatori al plasma che sembrano essere molto promettenti, per esempio, per il controllo attivo del moto intorno alle ali degli aerei (Szulga et al., 2014), in quanto



Attuatori al plasma Inserto dielettrico
Sonda a filo caldo



Figura 11.A2
Esperimento nella galleria del vento dell'ONERA usando attuatori di plasma. L'immagine è stata gentilmente fornita da Grégoire Casalis, ONERA, Tolosa, Francia.

molto leggeri e facili da installare. Questo tipo di attuatori è costituito da due elettrodi che vengono fissati su facce opposte di una superficie di materiale dielettrico. Quando viene applicato un voltaggio alternato tra gli elettrodi l'aria circostante si ionizza. Le particelle cariche si muovono a seguito dell'effetto del campo elettrico (vento ionico) e creano una tensione tangenziale alla parete, che viene usata per controllare il flusso (si veda lo schizzo in Figura 11.A1 relativo a un esperimento condotto presso l'ONERA, Figura 11.A2).

In questi esperimenti lo scopo era di ridurre la resistenza idrodinamica utilizzando meccanismi di controllo attivo per ritardare la transizione da moto laminare a turbolento. Allargare la regione in cui il moto è laminare, comporta una decrescita della resistenza di attrito che si traduce in una diminuzione della resistenza totale. Applicando una potenza di controllo modesta, pari a 76 W/m, a un attuatore montato a una distanza dall'inizio dell'ala pari al 33% della lunghezza dell'ala stessa, si è osservato uno spostamento verso valle del 6% del punto di transizione tra moto laminare e turbolento, e una conseguente significativa riduzione della resistenza di attrito.¹

Jan Pralits
DICCA, Scuola Politecnica,
Università di Genova

¹ M. Gad-el-Hak, 2007. *Flow Control: Passive, Active, and Reactive Flow Management*. Cambridge University Press.

L. Prandtl, 1904. *Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung*. In *Proc. Third Int. Math. Cong.*, 484-491, Heidelberg, Germany.

N. Szulga, O. Vermeersch, M. Forte, G. Casalis, 2014. *Experimental and numerical study of boundary layer transition control over an airfoil using a DBD plasma actuator*. In *Proc. IUTAM ABCM Symposium on Laminar Turbulent transition*, Rio de Janeiro, Brazil.