

## Due Approcci alla CFD: Costi e Benefici

### Sommario

Saranno confrontati il codice a pannelli solutore dell'equazione di Laplace e il codice solutore delle equazioni RANS, allo scopo di dimostrare che il primo, nella sua formulazione più evoluta (VSAERO) e nell'appropriato campo di utilizzo, si dimostra uno strumento più efficace e di minore costo del codici RANS.

### Introduzione

La CFD nasce nell'ambito della industria aerospaziale all'inizio degli anni 70, e da subito sono sviluppati i codici a pannelli. VSAERO è il primo codice a essere commercializzato, già dotato di rilassamento di scia e accoppiato iterativamente a un solutore di strato limite integrale. Con l'incremento della potenza di calcolo e delle RAM, a metà degli anni 80 si risolvono le equazioni RANS. Da allora lo sviluppo dei solutori delle equazioni di Navier Stokes è stato sempre in crescita, ma ciò che non viene usualmente considerato è che nel contempo anche i codici a pannelli hanno subito una decisiva evoluzione. Sono infatti stati sviluppati più raffinati trattamenti della scia, più efficienti codici per il calcolo dello strato limite integrale, la possibilità di simulare la propulsione a elica e le manovre, grazie all'accoppiamento con codici di calcolo del moto a 6 gradi di libertà.

### Caratteristiche e Ambito di Utilizzo

Le caratteristiche dei codici RANS sono ben note. A fronte della possibilità di risolvere qualsiasi tipo di fluido continuo ci si trova a cimentarsi con elevati tempi di soluzione ed elevati costi sia dell'hardware, sia della preparazione necessaria all'operativo applicato al software. Infatti la complessità delle caratteristiche dei codici RANS impone, per il corretto utilizzo, la frequenza di corsi di livello post-universitari, spesso all'estero. Tali costi risultano giustificabili solo per quelle attività che rendono obbligatorio l'utilizzo di tali strumenti. È questo il caso delle simulazioni di fluidodinamica interna, di combustione, di fenomeni esplosivi, di flussi molto densi, di processi di fusione; nel campo originale della CFD l'utilizzo dei RANS è obbligatorio nel caso di flussi fortemente separati per effetto di assetti di manovra esasperati in regime transupersonico, e di flussi in regime ipersonico.

I codici a pannelli ed in particolare VSAERO forniscono risultati affidabili e ottimamente correlabili con l'esperimento, se applicati a flussi attorno a corpi di forma aerodinamica e che quindi sono caratterizzati da strato limite prevalentemente attaccato o moderatamente separato. Inoltre, grazie all'implementazione di metodi di correzione sono in grado di simulare correnti in cui siano presenti moderati effetti di comprimibilità. I vantaggi offerti dai codici a pannelli sono numerosi.

Il più evidente consiste nei ridotti tempi di calcolo il codice

a pannelli genera infatti un sistema di equazioni lineari che per quanto esteso possa essere, viene oggi risolto rapidamente dai moderni calcolatori. Un secondo vantaggio lo si trova nei tempi di apprendimento per un utilizzo professionale che sono inferiori rispetto ad un solutore RANS; ciò consente di utilizzare personale meno qualificato e quindi di minor costo per l'azienda (diplomati piuttosto che laureati). Da non sottovalutare infine il minore impegno nell'investimento hardware richiesto da un codice a pannelli. È sufficiente, al fine di ottenere rapidi calcoli, collocarsi nella fascia intermedia dei personal computer, potendo evitare l'acquisizione di costose Work Station pluriprocessore.

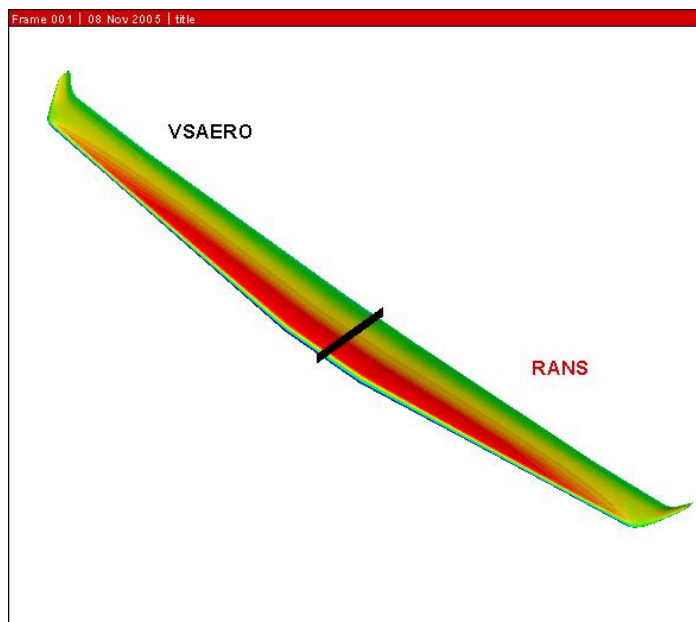


Fig. 1 Esempio pratico : ala+winglet Identica mesh superficiale 10 800 pannelli

### Confronto tra i due metodi

Per il confronto tra il codice a pannelli VSAERO e il solutore RANS (NSAERO), della AMInc., entrambi commercializzati in Italia dalla Porto Ricerca snc. sono presi in considerazione quattro diversi ambiti preparazione e controllo dei modelli di calcolo, calcolo viscoso, economicità di sistema, efficacia del loop di progetto.

### Preparazione e controllo

I codici solutori delle equazioni RANS sono anche definiti codici a volumi finiti, poiché la preparazione del modello comprende anche il volume d'aria che circonda il corpo in analisi. Il volume deve estendersi fino all'infinito

aerodinamico cioè distante dal corpo a sufficienza per simulare il fluido indisturbato. Nel caso del codice a pannelli tale necessità non esiste.

È infatti sufficiente rappresentare la superficie del corpo senza alcuna modellazione del fluido che lo circonda. Questo comporta una drastica diminuzione dei tempi di preparazione del modello, specie se complesso. Un pratico esempio è la semplice simulazione di un'ala isolata (Fig. 1, pagina precedente). Per un utente esperto, il quale abbia già chiaro ogni aspetto della procedura, compresa la forma della mesh di calcolo (topologia), la generazione e il controllo del modello necessita di almeno 90 minuti. Supponendo di utilizzare attorno al milione di nodi, il tempo di calcolo su singola e aggiornata CPU è pari a 8 ore. Lo stesso esercizio condotto con il programma a pannelli impegna 5 minuti per la generazione del modello (600 pannelli) e 25 secondi per la simulazione, risultando estremamente competitivo nell'ambito progettuale. Si consideri che nell'esempio specifico, nell'attesa di una soluzione RANS, si possono avere con il metodo a pannelli responsi per un centinaio di diverse geometrie. Un altro problema non indifferente, che pochi affrontano con la dovuta attenzione, è lo studio della indipendenza del risultato dalla mesh. Nonostante questo studio richieda una serie di ricalcoli è poco gravoso nel caso del programma a pannelli, grazie alla velocità di esecuzione; inoltre quest'ultima caratteristica consente fin da subito di abbondare con il numero di pannelli. Altrettanto non si può dire per il solutore RANS.

### Calcolo Viscoso

Per i solutori RANS la discretizzazione dello strato limite è fondamentale per l'accuratezza del calcolo. Anche se oggi è invalsa l'abitudine di utilizzare le cosiddette "wall functions", che sollevano dalla necessità di modellare il flusso prossimo alla parete, al fine di avere un risultato accurato è sempre necessario modellare correttamente il substrato laminare. Ciò, oltre alla necessità di controllo di quanto fatto con almeno un calcolo di prova per verificare la correttezza dei valori dei parametri caratteristici ( $Y^+$ ), appesantisce notevolmente il calcolo, in special modo nel caso si adottino modelli di turbolenza a più equazioni. Il programma a pannelli, utilizzando lo strato limite integrale, non necessita di particolari trattamenti della pannellatura (Fig 2) Non da ultimo sussiste la questione della univocità dei risultati nell'utilizzo dei codici RANS. Oltre a un problema di convergenza della soluzione (esistono casi in cui la soluzione continua lentamente a evolvere, allungando il tempo necessario ad ottenere una soluzione stabile), esiste un problema di univocità del risultato a parità di mesh al variare del modello di turbolenza. Non è un fatto nuovo che un modello K-epsilon ed un modello Baldwin-Barth o Spalart-Allmaras, applicati alla stessa grid e su una geometria che sviluppi una bolla di separazione, diano risultati gravemente differenti. Ciò pone l'utente in difficoltà nel caso di una mancanza di dati sperimentali di confronto.

### Economicità di Sistema

È noto che i codici RANS richiedono attrezzature HW all'avanguardia. Ciò investe tutti e tre i fattori costitutivi delle macchine di calcolo: CPU, RAM e hard disk. Le CPU devono essere il più possibile aggiornate per ridurre l'incidenza dei tempi di calcolo. La RAM deve essere massimizzata al fine di modellare ogni dettaglio del corpo

considerato. Tale necessità si riflette sulla quantità di celle da utilizzare, si parla ormai di modelli mediamente di 6 milioni di celle raggiungendo in qualche campo di applicazione 25 milioni. Ogni codice richiede un certo quantitativo di megabyte per cella (da mezzo a 2, in funzione del solutore), ne consegue una notevole richiesta di RAM. L'hard disk, data la mole di informazioni per calcolo, deve essere capiente. Ogni calcolo mediamente occupa 200Mb e quindi è sufficiente l'analisi di una trentina di configurazioni per mettere l'utente nella condizione di dovere eseguire archiviazioni nel corso di un progetto nel caso utilizzasse un disco fisso standard di 60 Giga (Tavola 1).

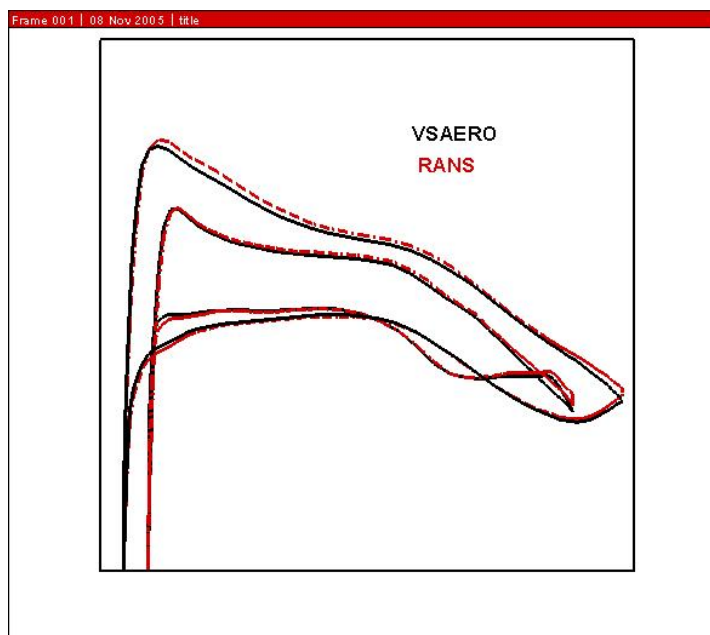


Fig.2 – distribuzione di pressione lungo due corde dell'ala di fig.1. all'incrementarsi della corda le curve RANS si discostano dalle curve VSAERO. Ciò evidenzia la sensibilità dello strato limite RANS al numero ed alla distribuzione di celle in una zona, caratterizzata da forti gradienti. Un problema che non viene sollevato da VSAERO

	$\Delta C_L\%$	$\Delta C_D\%$	Time min	Memory Mb	HD
<b>VSAERO</b>	<b>0,989</b>	<b>0,962</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>430</b>
<b>RANS</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>996</b>	<b>450</b>	<b>220</b>

Tavola 1-Dati relativi al caso in fig1. Sono presentate le differenze di coefficienti di portanza e resistenza riferite al calcolo RANS, i tempi di calcolo su una singola CPU, la quantità richiesta di RAM e di spazio su hard disk

Nel caso di codici a pannelli una CPU media fornisce già un ottimo strumento per avere una notevole capacità di analisi. Un Gigabyte di RAM è sufficiente per calcolare una geometria molto dettagliata (18 000 pannelli), 10 Gigabyte liberi sul disco fisso consentono di svolgere un intero progetto ed una archiviazione al termine del medesimo.

### Efficacia nel loop di progetto 1

Una delle principali caratteristiche che uno strumento deve possedere per essere efficace nelle attività di progetto è la capacità di rapida modifica delle geometrie. La maggior parte dei solutori RANS si presenta ancora oggi come strumento di analisi (a causa della pesantezza dei tempi di calcolo) e delega la parte di modifica delle geometrie a routine esterne, a programmi CAD (il che comporta l'intervento di disegnatori esperti) o a generatori di griglia che possiedono capacità parametriche (per esempio Gridgen della Pointwise Inc. distribuito in Italia da Porto Ricerca Snc.). Ciò richiede la preparazione di script più o meno complessi per la rigenerazione automatica della mesh, che richiedono buona conoscenza del software e non sempre sono di facile implementazione. VSAERO consente l'intervento della geometria con la modifica diretta nel file di input, possedendo al suo interno routine di interpolazione ed una organizzazione del data base che permette trasformazioni geometriche quali rotazioni, traslazioni, scalamenti, il tutto su diversi livelli gerarchici di geometrie. Ad esempio è possibile studiare rapidamente variazioni in pianta, di sezioni, di calettamenti, rispetto a uno o più assi, di posizionamento reciproco tra porzioni di geometria, rotazioni di parti mobili.

### Efficacia nel loop di progetto 2

Un'altra caratteristica dello strumento di progetto molto gradita al progettista (il quale non si limita a definire una forma che funzioni ma la migliora compatibilmente alle risorse disponibili) è la stabilità del numero rappresentante la performance relativa a ciascuna modifica.

Nel caso dei codici RANS, applicati a geometrie che sviluppano flussi separati non stazionari in zone non oggetto di progetto, risulta complesso ottenere valori identificativi della prestazione, che siano stazionari (costanti).

Diventa perciò pericoloso il confronto tra diverse geometrie, a meno di non porre una estrema attenzione e di trovare criteri di confronto che filtrino le oscillazioni dei risultati. Nel caso di VSAERO è possibile simulare aree separate, seppure in maniera approssimativa. Ciò consente di eliminare l'incertezza del risultato dividendo la soluzione e verificando le convergenze solo per le porzioni di geometria di interesse.

### Quantificazione

Al fine di dare consistenza a quanto detto fin'ora prendiamo in considerazione un esempio standard per il mondo aeronautico: il velivolo completo modellato da un utente mediamente esperto (con almeno una analogia modellazione alle spalle). I tempi di generazione del modello possono essere quantificati in:

- 20 giorni lavorativi per il modello RANS di 2.5 milioni di celle a pannelli (18 000)
- la preparazione degli input può essere considerata influente ai fini del dispendio di tempo
- 5 giorni di calcolo su singola CPU per il solutore RANS, 4 ore per il codice a pannelli.

Applicando a questi tempi la tabella 2, in cui :

-non sono stati considerati i costi di apprendimento delle risorse umane

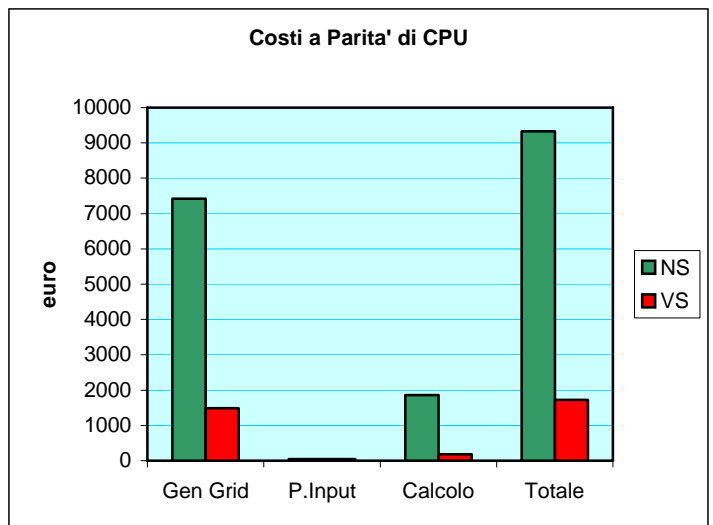
-è stato considerato il costo di una sola licenza d'uso del software RANS (calcolo in singola CPU)

-per quanto riguarda l'hardware è stato considerato l'opportuno utilizzo del più aggiornato hardware per il solutore RANS e un hardware intermedio per VSAERO, ammortati in tre anni, e distribuito equamente sui tre anni medesimi, ne consegue un grafico dei costi riportato nella figura 3, da cui risulta chiaro che eseguire un calcolo con il codice RANS è 5 volte più dispendioso che eseguirlo con un codice a pannelli

TABELLA 2

Costo Orario in Euro	Navier Stokes	VSAERO
Risorse Umane	30.00	30.00
Software	15.71	16.00
Hardware	0.70	0.50

FIGURA 3



### Conclusioni

Questa disamina evidenzia che l'abbandono o la non considerazione del codice a pannelli come strumento di progetto nel proprio ambito di elezione (aree di progetto caratterizzate da flussi attaccati o al più moderatamente separati, e flussi incompressibili o al più moderatamente comprimibili), non è un corretto atteggiamento strategico, sia dal punto di vista dei risultati ottenibili nel progetto, sia dal punto di vista dei costi per ottenere tali risultati. Il codice a pannelli è -e rimarrà- a lungo- un prezioso strumento di analisi e di progetto.