

OTTIMIZZAZIONE FLUIDO-STRUTTURA DI VELIVOLI INDUSTRIALI: IL CASO DEL P180 AVANTI EVO

EMILIANO COSTA

RINA Consulting S.p.A., Roma.

CORRADO GROTH, MARCO EVANGELOS BIANCOLINI

*Università degli Studi di Roma Tor Vergata,
Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa, Roma.*

GIORGIO TRAVOSTINO, ANIELLO COZZOLINO

Piaggio Aerospace, Villanova d'Albenga, Italy

Questo articolo presenta l'ottimizzazione di forma del velivolo P180 Avanti EVO progettato e costruito dalla Piaggio Aerospace. Dopo esser state generate, le varianti di forma vengono successivamente analizzate in maniera automatica tramite una soluzione numerica high fidelity che tiene conto dell'interazione fluido struttura. Lo studio è stato effettuato nell'ambito dell'Esperimento 906 del progetto Europeo Fortissimo, che ha consentito di rendere disponibile su cloud la piattaforma di calcolo del progetto RBF4AERO. Mediante il metodo delle radial basis functions (RBF), la piattaforma RBF4AERO consente di parametrizzare rispetto alla forma e per vari solutori, sia modelli fluidodinamici (CFD++, ANSYS Fluent, SU2) che strutturali (Nastran, ANSYS APDL), ed è altresì in grado di valutare le prestazioni globali considerando l'accoppiamento fra fluido e struttura (FSI).

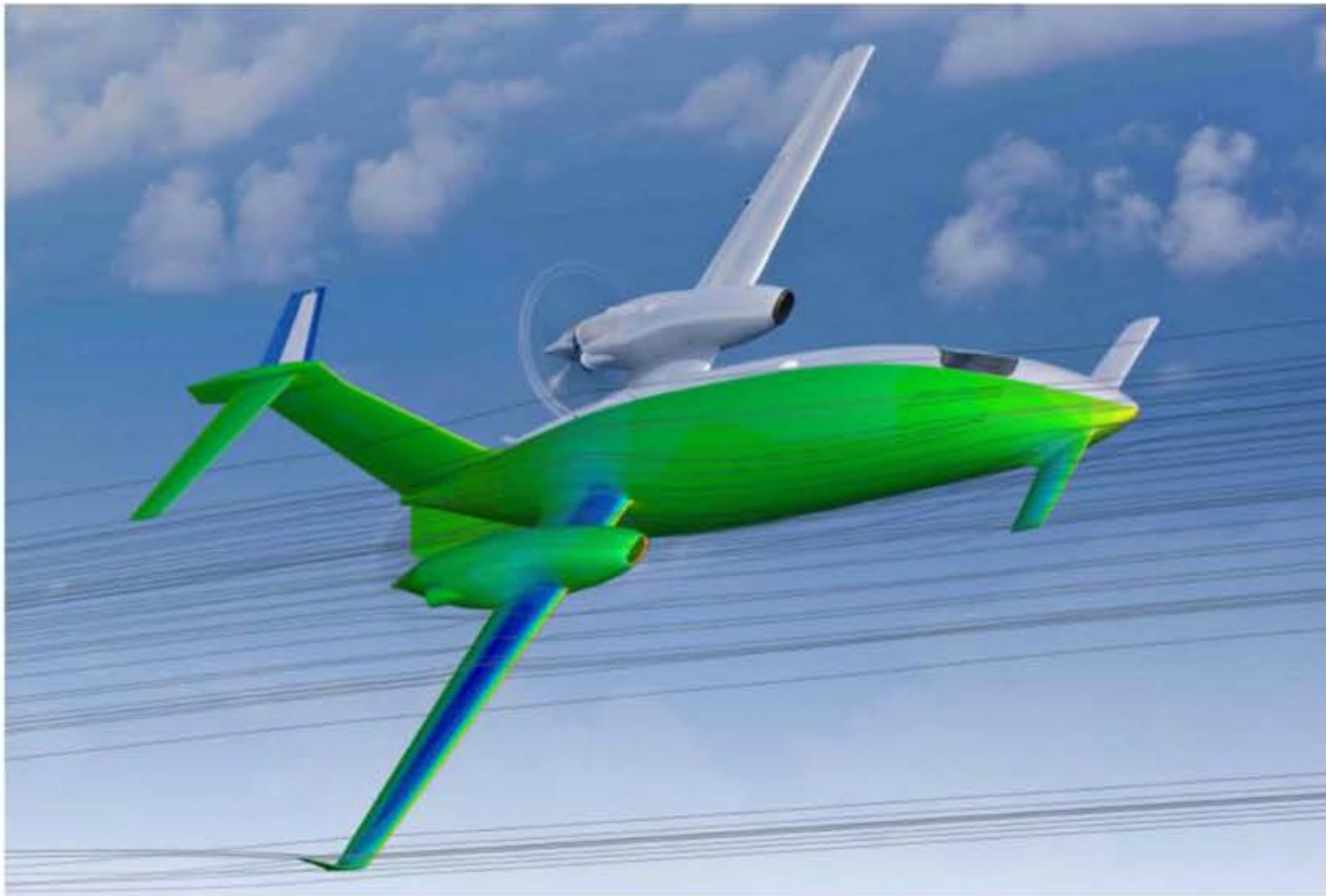
Il progetto RBF4AERO [1] è stato finanziato durante il settimo programma quadro con l'obiettivo di sviluppare, e mettere alla prova, una piattaforma software [2][3] in grado di rispondere alle esigenze di simulazione numerica ad alte prestazioni necessarie per la progettazione e l'ottimizzazione aeronautica.

Dopo aver completato il progetto RBF4AERO, alcuni dei partner con il supporto della Piaggio Aerospace [4] hanno concordato di proporre la piattaforma nella Call del progetto Fortissimo 2 [5], ottenendo il finanziamento per uno specifico esperimento mirato all'uso della piattaforma RBF4AERO attraverso il Marketplace di Fortissimo.

La piattaforma integra i seguenti strumenti di calcolo [6]: il Morpher Tool (MT), versione Stand Alone del software RBF Morph [7]; l'Optimization Manager (OM) per la gestione di ottimizzazioni ad obiettivo singolo o multiplo (SOO o MOO) basata sugli Evolutionary Algorithms (EA) e guidata da metamodelli; una versione in-house del solutore aggiunto (Adjoint) per OpenFOAM [8].

Il funzionamento integrato della piattaforma avviene grazie ad una tecnica meshless di mesh morphing basata sulle RBF [9][10] che consente di trattare i seguenti scenari di analisi:

- Ottimizzazione EA vincolate (SOO o MOO) [11] anche nel caso di analisi FSI accoppiate [12];
- Formazione di ghiaccio [13];
- Ottimizzazione basata sull'accoppiamento di solutore aggiunto e mesh morphing [14].



OTTIMIZZAZIONE FSI DELLA WINGLET DEL P180

L'esperimento n.906 [15] del progetto Fortissimo intitolato "Cross-Solver Cloud-based Tool for Aeronautical FSI Applications" si prefigge l'obiettivo principale di ottimizzare la risposta fluido-struttura in funzione delle modifiche di forma applicate alla winglet, mostrata in Figura 1, dell'aereo P180 Avanti EVO progettato e costruito da Piaggio Aerospace [16].

In particolare, l'ottimizzazione prende in esame diverse modifiche di forma delle winglet e coinvolge i principali coefficienti aerodinamici. Tale ottimizzazione di forma è stata effettuata utilizzando

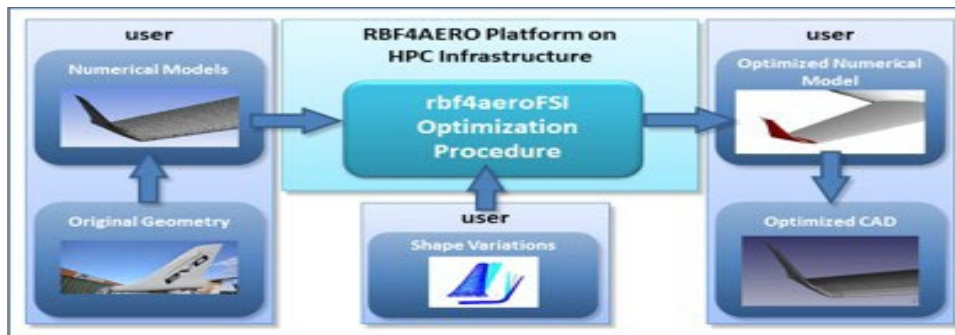


Figura 1 - Processo proposto per effettuare l'ottimizzazione fluido-struttura.

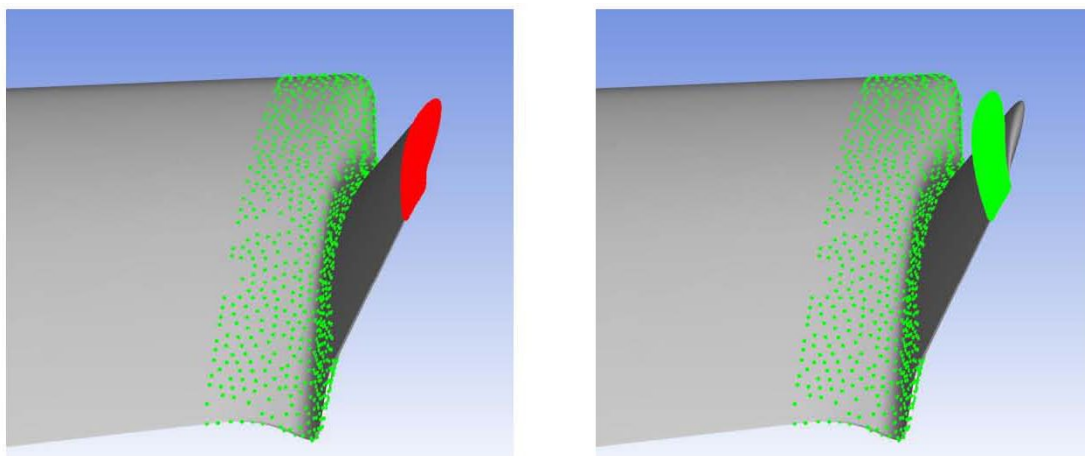
il solutore multi-fisico rbf4aeroFSI, dedicato all'ottimizzazione di forma in presenza di fenomeni di interazione fluido-struttura che è stato sviluppato nel progetto europeo RBF4AERO ed implementato nella sua piattaforma multi-solutore.

MODIFICHE DI FORMA

Le tre modifiche di forma scelte per effettuare l'ottimizzazione sono gli angoli di twist, cant e sweep. Nello specifico il twist consiste nella rotazione dell'estremità della winglet attorno al bordo di attacco mantenendo fissa la sua radice, l'angolo di cant modifica l'angolo della winglet rispetto l'ala mentre la variazione geometrica che concerne l'angolo di sweep è ottenuta traslando la posizione della winglet lungo la corda dell'ala.

Il set-up RBF concepito per controllare la mesh di superficie è mostrato in Figura 2 dove i punti rossi dell'immagine di sinistra rappresentano i nodi che vengono modificati mentre quelli verdi i nodi che non alterano la loro posizione durante il morphing. Nell'immagine di destra della stessa figura è mostrata la posizione finale dei punti con spostamento imposto, amplificando quest'ultimo di dieci volte per facilitare la comprensione della modifica. La porzione della winglet compresa tra i nodi fissi e quelli con spostamento assegnato è libera di deformarsi a seguito dell'applicazione dell'azione di morphing. Il set-up RBF che gestisce il morphing delle celle di volume prevede la generazione di un dominio geometrico all'interno del quale viene limitata l'azione del morphing. A causa dell'abbassamento della qualità delle celle dovuta al morphing, è stato opportunamente verificato che le combinazioni delle modifiche, applicate in uno specifico intervallo di interesse, non generino celle con qualità non accettabile per il calcolo.

Figura 2 - Set-up RBF per modificare l'angolo di twist tramite il morphing di superficie



MESH E SET-UP CFD E RISULTATI DELLA CONFIGURAZIONE

BASELINE

È stata generata una mesh non strutturata di tipo ibrido composta da circa 21 milioni di celle seguendo i dettami che vengono tipicamente adottati da Piaggio Aerospace per creare delle griglie di calcolo di taglia media. Nello specifico, dopo aver importato il modello CAD, sono state opportunamente estruse un certo numero di schiere di prismi partendo dalla mesh triangolare delle geometrie, al fine di risolvere lo strato limite fino a parete. La porzione di dominio fluido rimanente è stata successivamente discretizzata mediante elementi tetraedrici.

Riguardo le condizioni di flusso da imporre nell'analisi CFD, sono state adottate le condizioni di crociera del velivolo che risultano essere appena al di sotto del regime transonico e definite in maniera univoca una volta assegnato il numero di Mach, l'altitudine e l'angolo di attacco. L'influenza del motore è stata modellata applicando opportune condizioni al contorno in corrispondenza dell'ingresso e degli scarichi.

Le immagini della Figura 3 mostrano, rispettivamente da una vista frontale e dal basso, il confronto tra la distribuzione del coefficiente di pressione (C_p) sulle geometrie esterne del modello del P180 in condizioni stazionarie ottenute con il solutore SU2 [17] e CFD++ [18].

La soluzione che descrive le condizioni stazionarie di flusso ottenuta per la configurazione baseline del velivolo è stata impiegata per inizializzare il campo di moto della griglia di calcolo per ogni punto di design, ovvero ogni variante ottenuta modificando la baseline del modello mediante il morphing. Questa operazione permette di risparmiare molto tempo di calcolo senza inficiare sull'accuratezza dei risultati CFD ottenibili.

MODELLO CSM E RISULTATI DELL'ANALISI MODALE

Il modello CSM, la cui posizione rispetto al modello CAD è riportata in Figura 4, interessa le ali e la winglet ed include la parte centrale della fusoliera del velivolo. Mentre la winglet è molto dettagliata fino alla definizione degli strati di composito che la costituiscono, la parte rimanente è modellata in maniera semplificata utilizzando elementi travi e piastra per le ali, elementi rigidi per i motori, elementi molla per collegare ali e fusoliera mantenendo fisse due sezioni estremali della fusoliera.

Visto che i modelli CFD e CSM hanno porzioni di superficie bagnate non sovrapposte, come ad esempio l'ala ed i motori, non è possibile applicare l'ottimizzazione fluido struttura adottando il

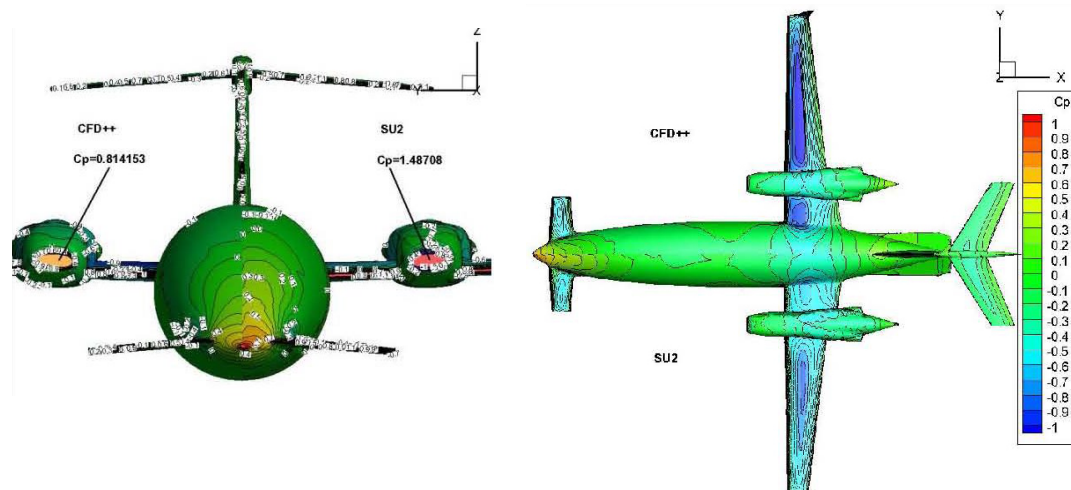


Figura 3 - Risultati CFD ottenuti per la configurazione baseline del modello del P180 Avanti EVO

metodo classico a due vie (two-way). La caratteristica meshless del software di morphing ha tuttavia reso possibile l'interpolazione degli spostamenti ottenuti con il modello CSM e la loro propagazione nella mesh di volume del modello CFD con un adeguato livello di accuratezza. Per questo motivo, il metodo della sovrapposizione modale, che prevede l'inclusione dei modi di vibrare delle parti deformabili della struttura nel modello CFD, è stata applicata per svolgere l'ottimizzazione. Secondo quest'ultimo approccio, l'ottimizzazione fluido-struttura è risolta secondo un metodo a parametri ridotti nel quale il comportamento strutturale del sistema è descritto mediante un numero predefinito di modi di vibrare ognuno dei quali attiva un singolo grado di libertà risolubile direttamente nel solutore CFD. Nello specifico sono stati calcolati 30 modi mediante un'analisi agli autovalori e ne sono stati tenuti solo 5 essendo gli altri relativi a comportamenti locali delle piastre. I modi di vibrare estratti grazie al modello CSM sono stati poi processati per generare un parametro di forma per ogni modo, adottando per il set-up RBF una strategia del tutto simile a quella precedentemente descritta per le modifiche di forma della winglet.

RISULTATI DELL'OTTIMIZZAZIONE FLUIDO-STRUTTURA

L'ottimizzazione ha previsto la definizione di due funzione obiettivo, ovvero la minimizzazione del coefficiente di resistenza (drag coefficient) e la massimizzazione del coefficiente di portanza (lift coefficient), esplorando le tre modifiche di forma della winglet nell'intervallo di valori compresi tra $\pm 15^\circ$. Per quanto concerne le impostazioni dell'ottimizzatore, è stato impiegato il metodo full factorial per generare i punti di design del DoE (Design of Experiment) iniziale calcolate con il mo-

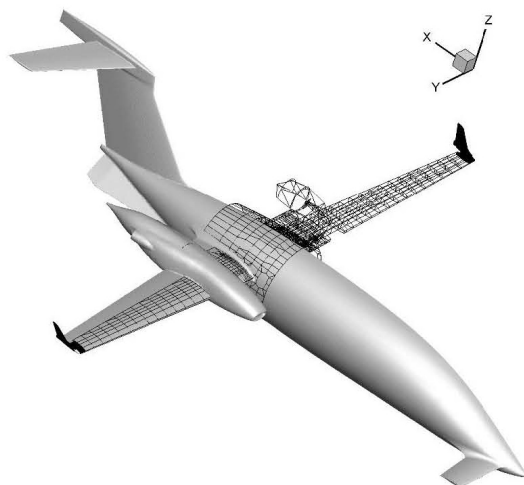


Figura 4 - Posizione ed ingombro del modello CSM rispetto al modello CAD

dello CFD (exact evaluations), la dimensione dell'offspring evaluations e del parent population è stata imposta rispettivamente a 60 e 20, la dimensione elite a 5, il numero massimo di valutazione CFD a 40 e quello delle approssimazioni fornite dal metamodello pari a 500.

La Figura 5 mostra, per la configurazione baseline, il confronto tra il modello rigido e quello flessibile ottenuto alla fine dei 4 cicli di calcolo FSI imposti per ogni punto di design. Il contour mostrato sul modello deformato è relativo alla distribuzione del coefficiente di pressione.

La Figura 6 mostra il risultato più importante dell'ottimizzazione, ossia la distribuzione dei punti di design nello spazio delle funzioni obiettivo calcolati mediante il modello CFD reso elastico con

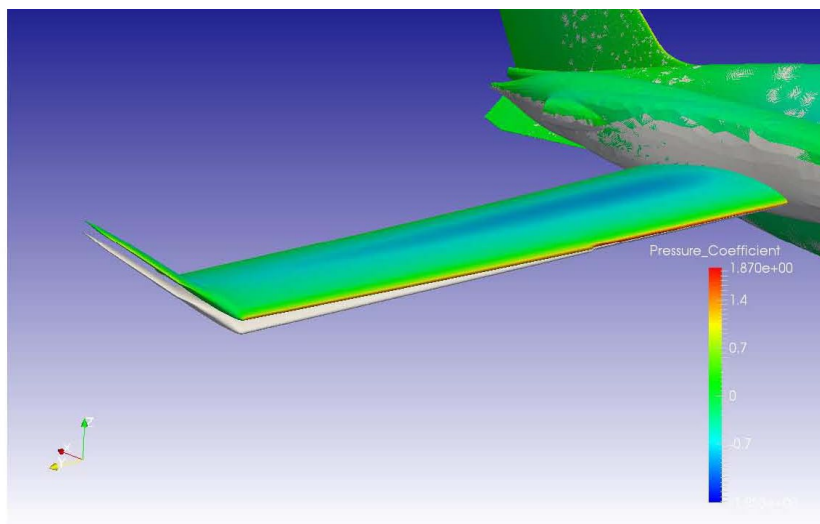


Figura 5 - Confronto tra la configurazione indeformata e quella deformata della baseline

l'inclusione dei modi di vibrare tramite mesh morphing. Nella visualizzazione viene evidenziato il punto di design relativo alla baseline e quelli in corrispondenza del fronte di Pareto (non-dominated individuals). Come visibile, valutando la muta posizione di quest'ultimi punti e quello relativo alla baseline, si evidenzia come ci sia margine per migliorare le prestazioni aerodinamiche in condizioni di crociera modificando opportunamente la winglet.

Tenendo in considerazione che i punti del fronte di Pareto possono essere ottenuti applicando una combinazione nota delle modifiche di forma, uno dei punti ottenuti può essere scelto come punto di ottimo e imposto per migliorare le prestazione del P180 Avanti EVO.

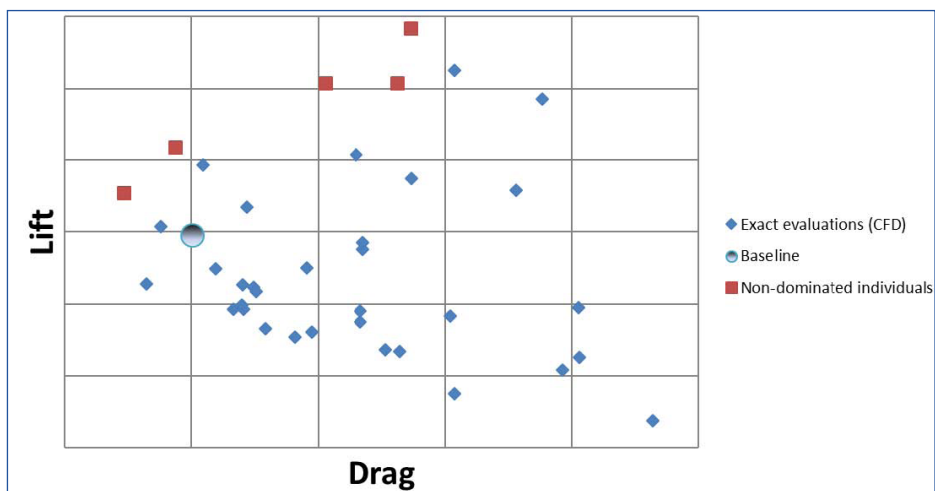


Figura 6 - Valori delle valutazioni ottenute dall'ottimizzatore mediante il modello CFD elastico

CONCLUSIONI

Lo studio presentato in questo articolo dimostra come la piattaforma RBF4AERO possa essere sfruttata in modo molto efficace anche per applicazioni industriali molto complesse in ambito aeronautico. La messa a punto del servizio su Fortissimo consente di offrire questa soluzione secondo il modello software as a Service (SaaS).

RINGRAZIAMENTI

Lo studio è stato finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del programma Horizon 2020 con il grant agreement No 680481.

RIFERIMENTI

- [1] RBF4AERO project https://cordis.europa.eu/project/rcn/109141_it.html [Last consulted 13 09 2018]
- [2] RBF4AERO project website, <http://www.rbf4aero.eu/> [Last consulted 13 07 2018]
- [3] RBF4AERO Platform promo video, <https://www.youtube.com/watch?v=eThibFzEPNI> [Last consulted 13 07 2018]
- [4] Piaggio Aerospace Website, <http://www.piaggioaerospace.it/en?ln=en> [Last consulted 13 07 2018].
- [5] Fortissimo project, <http://www.fortissimo-project.eu> [Last consulted 13 09 2018]
- [6] Bernaschi, M., A. Sabellico, G. Urso, E. Costa, S. Porziani, F. Lagasco, C. Groth, U. Cella, M.E. Biancolini, D.H. Kapsoulis, V.G. Asouti, K.C. Giannakoglou, "THE RBF4AERO BENCHMARK TECHNOLOGY PLATFORM", ECCOMAS Congress 2016 - VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, 5th-10th June 2016, Crete Island, Greece
- [7] RBF Morph software, <https://www.rbf-morph.com> [Last consulted 13 09 2018]
- [8] OpenFOAM software, <https://www.openfoam.com/> [Last consulted 13 09 2018]
- [9] Radial basis functions (RBF), https://en.wikipedia.org/wiki/Radial_basis_function
- [10] Marco Evangelos Biancolini, "Fast Radial Basis Functions for Engineering Applications", Springer International Publishing, 2018, DOI: 10.1007/978-3-319-75011-8
- [11] Biancolini, M.E., E. Costa, U. Cella, C. Groth, G. Veble, "Glider Fuselage-Wing Junction Optimization using CFD and RBF Mesh Morphing", Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, Vol. 88 Iss 6 pp. 740 - 752, October 2016, Emerald Group Publishing Limited. DOI: 10.1108/AEAT-12-2014-0211.R1
- [12] Andrejašić, M., D. Eržen, E. Costa, S. Porziani, M.E. Biancolini, and C. Groth, "A Mesh Morphing Based FSI Method used in Aeronautical Optimization Applications", ECCOMAS Congress 2016 - VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, 5th-10th June 2016, Crete Island, Greece
- [13] Costa, E., M. E. Biancolini, C. Groth, G. Travostino, G. D'Agostini, "Reliable Mesh Morphing Approach to Handle Icing Simulations on Complex Models", Proceedings of the 4th EASN Association International Workshop on Flight Physics and Aircraft Design, 27-29 October 2014, Aachen, Germany
- [14] E.M. Papoutsis-Kiachagias, K.C. Giannakoglou, S. Porziani, C. Groth, M.E. Biancolini, E. Costa, M. Andrejasic, "Combining an OpenFOAM-based Adjoint Solver with RBF Morphing for Shape Optimization Problems on the RBF4AERO Platform", OpenFOAM® Selected papers of the 11th Workshop, Springer International Publishing, ISBN: 978-3-319-60846-4
- [15] Fortissimo Experiment n. 906, <https://www.fortissimo-project.eu/experiments/906> [Last consulted 13 09 2018]
- [16] P180 Avanti EVO, <http://www.avantievo.piaggioaerospace.it> [Last consulted 13 09 2018]
- [17] SU2 project, <https://su2code.github.io/> [Last consulted 13 07 2018].
- [18] CFD++ Solver, <http://www.metacomptech.com/index.php/features/icfd> [Last consulted 13 09 2018]