

## IL PROGETTO “GALILEO<sup>3</sup>”

Paolo Greco e Pier Domenico Tromboni

*Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale e Astronautica, Università di Roma “La Sapienza”*

### SOMMARIO

Lo scopo di questo articolo è illustrare il lavoro extra-accademico svolto nel corso degli ultimi quattro anni da un gruppo, via via più numeroso, di studenti della Facoltà di Ingegneria dell’Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, nell’ambito della progettazione e della realizzazione di UAV (Unmanned Aerial Vehicles) a controllo remoto e propulsione elettrica. I relatori della stesso sono stati parte del gruppo di progetto, “the Flying Centurions”, ed hanno raccolto la sintesi che segue a nome dell’intero team.

### INTRODUZIONE

Nell’ambito delle iniziative studentesche universitarie l’*AIAA*, American Institute for Aeronautics and Astronautics, <http://www.aiaa.org/>, promuove annualmente, con il patrocinio e la sponsorizzazione della *CESSNA Aircraft Company* (azienda leader nel settore degli aerei da turismo ed executive) e della *Office for Naval Research* della Marina Militare degli Stati Uniti, un concorso per la progettazione, la costruzione e la gara di volo di velivoli UAV (Unmanned Aerial Vehicles) radiocomandati a propulsione elettrica “*AIAA/CESSNA/ONR Student Design/Build/Fly Competition*” (D/B/F). Le specifiche tecniche che i modelli devono rispettare e le caratteristiche della missione di volo che devono compiere durante le fasi finali della competizione cambiano di anno in anno, in modo da incentivare la ricerca e lo studio di soluzioni innovative. Nei mesi precedenti la gara di volo, ciascun team deve sottoporre alla commissione giudicante un report scritto che documenti in modo dettagliato lo sviluppo del progetto e le caratteristiche della configurazione finale scelta. La competizione si conclude nel mese di Aprile, quando, nel corso di una manifestazione di 3 giorni, durante i quali le squadre partecipanti vivono e lavorano a stretto contatto, viene

resa nota la valutazione della documentazione presentata e si dimostra l’abilità dei velivoli di compiere la missione obiettivo. Tre sono gli elementi di giudizio che concorrono alla determinazione della squadra vincitrice: 1) la valutazione del report (Design Report Score); 2) il valore di una funzione di costo (Rated Aircraft Cost) rappresentativa dei costi economici e tecnologici del progetto; 3) il punteggio ottenuto nella gara di volo (Total Flight Score). Il punteggio globale è una combinazione dei precedenti secondo la formula:

$$PF = \frac{DRS * TFS}{RAC}$$

dove DRS (Report Design Score) è il punteggio del report, TFS (Total Flight Score) il punteggio di gara e RAC è il fattore di costo.

Il concorso ha carattere internazionale, anche se la stragrande maggioranza delle squadre partecipanti viene da Atenei statunitensi (quest’anno: 38 su 43). “La Sapienza” ha partecipato alle ultime quattro edizioni del D/B/F.

### IL DBF 2002

Quest’anno il nostro team, supervisionato dal prof. Guido De Matteis, ordinario di Meccanica del Volo presso la Facoltà di Ingegneria, è riuscito a realizzare un velivolo che è risultato competitivo con i prodotti delle più prestigiose e ricche Università d’oltre Oceano. L’esperienza acquisita nelle precedenti competizioni ha evidenziato la necessità di cercare una collaborazione al di fuori dello stretto ambito accademico. Grazie all’interessamento del prof. Mario Marchetti (ordinario

del corso di Costruzioni Aerospaziali presso la Scuola di Ingegneria Aerospaziale de “La Sapienza”), è stato possibile contare sul valido supporto della Sistema Compositi (SC) Srl, e dell’Istituto Tecnico Industriale Statale Galileo Galilei di Roma, presso i cui locali è avvenuto parte del processo costruttivo. La SC è un’azienda che produce manufatti in materiali compositi con sede presso Colleferro (Rm), che ci ha permesso di effettuare una gran parte del processo di costruzione del velivolo presso i suoi stabilimenti e di usufruire dei materiali e delle attrezzature necessarie.

Le principali specifiche del D/B/F 2001/02 chiedevano un veicolo:

- di qualsiasi configurazione possibile, eccetto quelle ad ala rotante o più leggere dell’aria;
- propulso da uno o più motori elettrici commerciali, ad elica;
- alimentato da batterie commerciali ricaricabili al NiCad;
- massima intensità di corrente di alimentazione: 40 ampere;
- peso massimo consentito dei pacchi-batterie: 5 lbs (circa 2.27 Kg);
- peso massimo consentito al decollo, a pieno carico: 55 lbs (circa 25 Kg);

- capace di decollare in pista “corta”: massimo 200ft (circa 61 metri);
- capace di eseguire una “missione” obiettivo, consistente nel seguire un assegnato profilo di volo (descritto di seguito) sia scarico che con un carico utile di palle da softball, in numero da 10 a 24.

Il profilo di missione prevedeva un decollo in pista “corta”, l’esecuzione del circuito rettangolare di 1000 ft di lato, illustrato in figura 1, da percorrere ad una quota “di sicurezza” (poche decine di metri) con l’aggiunta di una virata completa (360°) nel lato sottovento, e un atterraggio, alternando voli a pieno a carico (24 palle da softball del peso complessivo di 4.5 Kg) e voli a vuoto.

L’intera missione doveva essere compiuta entro un tempo massimo di 10 minuti, ed il punteggio conseguito era dato dalla seguente espressione:

$$pm = \frac{ng + np}{t}$$

dove  $ng$  è il numero di giri totalizzati,  $np$  il numero di palle trasportate in configurazione di carico e  $t$  il tempo impiegato per percorrere l’intero percorso.

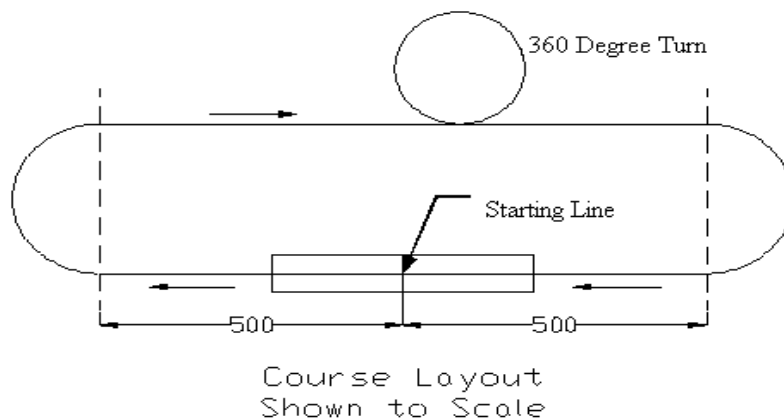


Fig. 1: Schema del percorso; le lunghezze sono indicate in piedi (ft)

### **IL PROGETTO GALILEO<sup>3</sup>**

Di anno in anno, pur rimanendo fedele alle linee guida fondamentali, il regolamento della manifestazione introduce alcuni cambiamenti circa i vincoli progettuali che il velivolo deve rispettare, come ad esempio limiti sull'apertura alare o sulla massima potenza disponibile, strutturazione della funzione di costo (RAC), specifiche di missione (tipo e peso del carico utile, profilo di volo, tempi di missione).

Quest'anno, oltre a rilevanti modifiche circa la missione di volo, che il nuovo regolamento trasformava da una gara di autonomia in una gara di velocità (semplificando: trasportare il massimo carico non più -o non solo- il più a lungo possibile, ma soprattutto nel minor tempo possibile), le novità più vincolanti riguardavano la strutturazione della funzione di costo.

Per adeguarsi alle nuove esigenze, il nostro team ha optato per una configurazione monomotore, con ala bassa rettangolare, "fusoliera portante" e "V tail all mover".

### **CONCEPTUAL DESIGN**

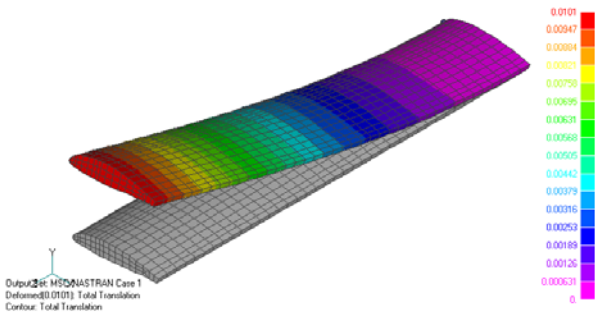
Durante questa fase è stata selezionata quella configurazione, tra le molteplici prese in considerazione, che fosse capace, al contempo, di rispondere al meglio ai requisiti di missione e di permettere di adottare soluzioni costruttive alla nostra portata. Sono state inoltre considerate diverse soluzioni di manifattura cercando, dove possibile, di ricorrere ai materiali compositi. Un requisito prevedeva la disposizione del carico su di un unico piano in almeno due file parallele. Dunque, una fusoliera portante è sembrata la migliore soluzione poiché permetteva di disporre di un ampio vano carico facilmente accessibile, limitava la lunghezza totale del velivolo (parametro fortemente penalizzante dal punto di vista del RAC), contribuiva alla generazione della portanza riducendo la corsa di decollo. La coda a V avrebbe richiesto una complicazione maggiore relativamente al dimensionamento delle superfici ai fini del controllo, tuttavia avrebbe permesso una drastica riduzione del RAC rispetto ad una soluzione convenzionale. La configurazione della superficie alare è

stata dettata soprattutto dai requisiti di manifattura. Infatti, avendo una piena conoscenza dei problemi legati alla realizzazione di complesse geometrie tridimensionali da usare come stampo nella lavorazione di materiali compositi, abbiamo optato per un'ala rettangolare, pur rinunciando ad una maggiore efficienza aerodinamica. Il sistema propulsivo è stato scelto in base ai risultati di una preventiva analisi che ha mostrato quanto un singolo motore, di potenza elevata, fosse più efficiente di un numero maggiore di motori di potenza più limitata.

### **PRELIMINARY DESIGN**

In questa fase si è proceduto al dimensionamento di tutti gli elementi del velivolo ed alla produzione di alcuni prototipi da utilizzare nelle prove sperimentali. Il dimensionamento è stato affrontato e dal punto di vista analitico e dal punto di vista numerico.

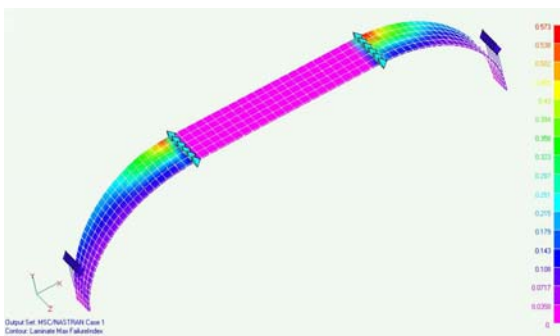
Per quanto riguarda i materiali da impiegare nella costruzione, ci siamo indirizzati verso l'uso del composito con fibre di carbonio e fibre aramidiche. In particolare, il kevlar è stato selezionato per il carrello di atterraggio, soggetto a carichi di tipo impulsivo. La soluzione finale adottata è un laminato cross-ply (0/90) costituito da 7 strati di kevlar (Hexcel K285 F155) prepreg e due di carbonio. Mentre un sandwich in carbonio (ICI Fiberite 934) (singolo strato) e nomex (Hexcel HRH-10) è stato adottato per realizzare l'intera cellula della fusoliera. Più complesso l'iter progettuale che ha portato alla struttura alare, sostanzialmente un sandwich con "core" in polistirolo espanso e "skin" in vetroresina, cui si aggiunge un solo longherone (a doppia T) ancora in carbonio. Le figure 2 e 3 illustrano i risultati delle analisi FEM (Finite Element Method) svolte, rispettivamente, su un modello di semiala e su un modello del carrello posteriore.



**Fig. 2:** total translation del modello di semiala.

In entrambe i casi le analisi sono state implementate tramite il codice MSC NASTRAN®, che è stato utilizzato per l'intera verifica statica e dinamica delle strutture.

Per un'applicazione efficiente dei materiali compositi non basta limitarsi a sostituire uno per uno gli elementi costruttivi già realizzati con materiali convenzionali con analoghi elementi in composito, ma è necessario ripensare l'intero progetto strutturale. Ecco allora che, abbandonata la configurazione classica (centine, longheroni, ordinate, correnti) già utilizzata nei modelli realizzati per le precedenti edizioni del DBF, per la struttura del nuovo UAV la soluzione selezionata è di tipo "scatolare", caratteristica che ci ha consentito, grazie all'ottimale rapporto resistenza/facilità di realizzazione, di produrre rapidamente alcuni prototipi dei diversi elementi strutturali per poter così verificare la validità del progetto con una seria campagna di verifiche statiche, collaudi e test di volo, onde ottimizzare il prodotto finale.



**Fig. 3:** risultati FEM per il carrello posteriore.

## DETAIL DESIGN

Una completa sessione di prove sperimentali è stata effettuata al fine di verificare i risultati ottenuti dai precedenti step progettuali. In particolare le prove in galleria del vento, realizzate nei locali del Dipartimento di Meccanica ed Aeronautica dell'Università di Roma "La Sapienza", hanno rivelato un ottimo accordo con i risultati teorici. Dal punto di vista strutturale sono stati condotti test statici (mediante estensimetri a resistenza) e dinamici (acquisizione modale tramite accelerometri). L'analisi dei risultati delle prove ha evidenziato la necessità di rinforzare la struttura alare. Infatti pur essendo in buon accordo con le previsioni teoriche relativamente ai moduli di rigidezza, i test hanno evidenziato dei valori dei carichi di rottura inferiori a quelli attesi. La causa di tale scostamento è da individuare nel processo tecnologico di lavorazione dei materiali compositi. In particolare nella fase di laminazione manuale, alcune isole di fibra risultavano scarsamente impregnate con la conseguenza di essere origine dell'innesco della delaminazione. La configurazione finale del sottosistema propulsivo è descritta di seguito :

batterie:	35 celle SANYO RC2400
elica:	Menz 22x12
motore:	Graupner 3450/7 geared 2.15
potenza max:	1200 watt

I principali parametri del velivolo sono descritti qui di seguito:

- peso totale a pieno carico :** 12 Kg
- numero palle da softball trasportate :** 24
- pianta alare :** rettangolare non rastremata
- apertura alare :** 2.84 m
- carrello:** triciclo anteriore non retraibile

### IL VOLO DI GALILEO<sup>3</sup>

Le fasi finali della manifestazione sono state ospitate dalla CESSNA Aircraft Company, presso gli stabilimenti di Wichita, Kansas, U.S.A. i giorni 26, 27 e 28 Aprile 2002. Dei 43 teams iscritti ufficialmente, soltanto 35 sono riusciti a portare i loro modelli alle gare di volo (i restanti erano stati squalificati nelle fasi precedenti o avevano riscontrato problemi nel completare la costruzione). Di questi, solamente 27 squadre riuscivano a completare almeno una missione di volo.

Alla fine della gara l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", con il suo modello "Galileo<sup>3</sup>", mostrato in figura 4, ha raggiunto il quinto posto della classifica finale, giungendo ancora una volta prima tra gli Atenei non statunitensi. Nelle immagini, due momenti della gara di Wichita.



*Fig. 4: il modello Galileo<sup>3</sup>.*

Il notevole salto di qualità rispetto al decimo posto raggiunto nelle due edizioni precedenti rappresenta un risultato significativo, testimone dell'alto valore del nostro progetto sul palcoscenico internazionale, che ci ripaga dell'impegno profuso sottraendo tempo ed energie al completamento dell'iter studiorum accademico.

A sottolineare le qualità di volo del nostro modello resta un dato oggettivo: Galileo<sup>3</sup> è stato l'unico velivolo capace di completare le 5 missioni previste dal regolamento, riuscendo a volare anche nelle proibitive condizioni atmosferiche del primo giorno di gara, al termine del quale la nostra posizione in classifica era il 2° posto (anche grazie all'abilità del nostro pilota ufficiale Luca Friggeri). L'ultimo giorno di gara, caratterizzato da

assenza di vento, permetteva il volo a molti modelli avversari, forse meno stabili, ma che presentavano soluzioni più audaci dal punto di vista dell'interpretazione del regolamento, e che quindi riuscivano a superarci in classifica. Tuttavia la competitività dimostrata, gli apprezzamenti ricevuti, l'esperienza acquisita, ci rendono consapevoli della possibilità concreta di migliorare ulteriormente.

La vittoria è stata conquistata da uno dei due equipaggi rappresentanti della University of California at San Diego, Ateneo che ha saputo aggiudicarsi anche il 22° posto.

La classifica generale viene riportata nella seguente tabella (Tab.1).

### CONCLUSIONI

La configurazione selezionata, oltre all'indubbio interesse dal punto di vista degli studi teorici e della ricerca, che rappresentano fundamentalmente l'obiettivo principale in una manifestazione di carattere universitario, presentava indubbi vantaggi sotto il profilo dell'interpretazione del regolamento di gara e delle disponibilità materiali a nostra disposizione. Ad esempio, dal punto di vista dell'aerodinamica e della meccanica del volo, i piani di coda non convenzionali risultavano particolarmente paganti pur non introducendo insormontabili difficoltà di progettazione e costruzione. O dal punto di vista strutturale: la soluzione "scatolare", piuttosto semplice relativamente all'assemblaggio costruttivo, ci ha permesso l'impiego di materiali superiori anche senza avere una profonda esperienza nella lavorazione dei compositi. Soluzioni che hanno consentito al nostro progetto di essere competitivo con quelli degli altri team. Tutto ciò è stato possibile grazie al supporto diretto che ancora una volta l'Università "La Sapienza" ha voluto fornirci, grazie all'interessamento del Magnifico Rettore, Prof. Giuseppe D'Ascenzo.

School	Team	Paper	RAC	Flight	Score	Position
Univ. of Calif at San Diego #2	TLAR 3	79.0	9.81	16.45	132.52	1
USC	Screwball	92.5	13.11	16.32	115.17	2
West Virginia Univ. #2	Phastball	86.5	12.49	15.22	105.43	3
Univ. of Illinois, Champaign	Illiniwek 1	88.0	13.31	12.99	85.87	4
La Sapienza, Italy	Flying Centurions	65.8	13.52	15.06	73.27	5
San Diego State University	Monty's Revenge	81.0	13.95	8.82	51.22	6
VA Polytechnic and State Univ.	Marooned	82.8	13.07	7.80	49.37	7
Calif. Polytechnic, San Luis Obispo	Third Base	86.3	8.41	4.18	42.84	8
USA Naval Academy #2	USNA Gold	82.3	13.57	4.87	29.54	9
Mississippi State Univ. #1	Fast Pitch	88.5	16.76	4.25	22.46	10
USA Naval Academy #1	USNA Blue (Tango)	79.4	15.49	2.97	15.20	11
Istanbul Technical University	ATA4	69.5	14.52	1.54	7.38	12
University of Arizona #2	AirCat2002	39.3	13.18	2.19	6.52	13
Case Western Reserve Univ.	Learning Curve	41.3	17.09	1.81	4.38	14
West Virginia Univ. #1	Daedalus	18.7	15.65	2.50	2.99	15
Oklahoma State Univ. #1	OSU Black	91.9	9.49	0.25	2.45	16
Oklahoma State Univ. #2	OSU Orange	94.0	10.09	0.11	1.07	17
University of Maryland	Terp Flyer	75.2	12.97	0.18	1.02	18
Georgia Institute of Technology	Buzz Light	87.3	13.33	0.14	0.91	19
Queen's University, Canada	Negative Margin	85.2	13.47	0.12	0.79	20
USA Military Academy #1	Team 1	83.4	16.26	0.11	0.57	21
Univ. of Calif at San Diego #1	TLAR 3.5	77.5	9.32	0.01	0.08	22
Wichita State Univ.	Swallow	92.6	11.31	0.01	0.08	23
University of Arizona #1	Evolution	66.0	12.71	0.01	0.05	24
Clarkson University	Knight Hawk	73.0	14.15	0.01	0.05	25
City College of NY #1	Falcon I	70.7	14.03	0.01	0.05	26
Syracuse University	~(Tilda)	70.3	16.24	0.01	0.04	27
Univ. of Texas at Arlington	Black Magic	70.6	17.15	0.01	0.04	28
Univ. of Texas at Austin	Better is the Enemy of Good	89.1	100.00	0.01	0.01	29
Middle East Technical University	Ruzgar Sultan	86.3	100.00	0.01	0.01	30
Mississippi State Univ. #2	Milk Ru	85.9	100.00	0.01	0.01	31
Cleveland State University	The Flying Viking	76.3	100.00	0.01	0.01	32
Turkish Air Force Academy	Conqueror	69.8	100.00	0.01	0.01	33
Miami University, Ohio	It's Close Enough	69.3	100.00	0.01	0.01	34
University of Central Florida	Butter Duck	66.2	100.00	0.01	0.01	35

**Tab. 1:** La classifica ufficiale del D/B/F 2001/02

## RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo breve articolo introduttivo alle nostre iniziative nel campo della progettazione e costruzione di *UAV* a controllo remoto vorremmo ringraziare tutte le persone che sono state al nostro fianco nel corso di questi anni. Senza il loro supporto e la loro collaborazione non avremmo mai raggiunto i lusinghieri risultati fin qui conseguiti. In particolare, vorremmo ricordare:

*Prof. Giuseppe D'Ascenzo*, Magnifico Rettore dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", per il vivo interesse dimostrato verso la nostra iniziativa e per aver compreso la nostra urgenza di tradurre in un prodotto ingegneristico reale le nozioni apprese nel corso dei nostri studi universitari, ed averci dato la possibilità di coltivare questa esigenza. Solo grazie al suo supporto diretto abbiamo potuto progredire in questa esperienza di straordinario valore didattico ed applicativo, affatto inusuale nel mondo accademico nazionale;

*Prof. Guido De Matteis*, Ordinario di Meccanica del Volo presso la Facoltà di Ingegneria de "La Sapienza", l' "advisor" ufficiale del team italiano nelle ultime tre edizioni del *D/B/F*, per la sua fiducia, la sua grande disponibilità ed i suoi preziosi consigli;

*Prof. Mario Marchetti*, Ordinario di Costruzioni Aerospaziali presso la Scuola di Ingegneria Aerospaziale de "La Sapienza", per il suo vivo e continuo interessamento ed i suoi consigli;

*Prof. Giorgio Sforza*, docente di Disegno di Costruzioni Aeronautiche presso l'ITIS Galilei di Roma, per i suoi suggerimenti sempre così puntuali, il suo incitamento nei momenti di sfiducia ed il suo incoraggiamento nelle difficoltà;

la "*Sistema Compositi*" s.r.l. di Colleferro, Roma, una manifattura di elementi meccanici ed aeronautici in materiali compositi; in particolare, vorremmo ringraziare l'Ing. Francesco Rigale, l'Ing. Rocco Aricò, l'Ing. Francesco Fratoni ed il Sig. Sciarra che hanno seguito da vicino ogni fase del nostro lavoro.