

# Ettore Antona

## GIUSEPPE GABRIELLI NELLA EVOLUZIONE DEL PROGETTO AEROSPAZIALE E SUA INFLUENZA SULLE RICERCHE AL POLITECNICO DI TORINO

### SOMMARIO

Le conoscenze al tempo dei fratelli Wright e soprattutto l'apporto dei medesimi alla filosofia del progetto vengono assunti come punto di avvio di un processo di evoluzione, nel quale nuove problematiche, nuove concezioni, nuovi traguardi in fatto di velocità, capacità di trasporto, durata, gradevolezza di pilotaggio e così via, sono andati affacciandosi. Giuseppe Gabrielli si inserì pienamente e da protagonista in tale evoluzione, con una pregnante visione dell'ingegneria aeronautica che egli vedeva come un unico corpo di conoscenze, comprendente dottrina, progetto e prassi.

Per capire i contributi che il Gabrielli diede alle conoscenze in campo aeronautico si possono distinguere i piani seguenti: strategia industriale, che in conseguenza delle dimensioni del nostro paese, da strategia di una singola industria si presenta come parte determinante di quella dello stesso paese, filosofia del progetto e ricerca e conoscenza scientifica. L'azione del Gabrielli, schematicamente distinta in contributi, può essere presentata secondo la loro cronologia, posizionandoli ciascuno in base al suo momento di maggiore intensità, anche se tra di essi, nelle varie fasi v'è sempre stata osmosi: l'ala monoplana a sbalzo; il prezzo della velocità e la discussione sulla fattibilità; i modelli, le prove e la adimensionalizzazione delle leggi fisiche e dei risultati sperimentali e teorici; la rincorsa tecnologica industriale attraverso le licenze e il contributo alla realizzazione di un sistema paese nella tecnologia aeronautica; il progetto come sintesi e risultato delle mutue interdipendenze fra i componenti del sistema; importanza di sicurezza e affidabilità per il successo di un aeromobile; necessità di esaminare i comportamenti dei sistemi nelle effettive condizioni di impiego e i comportamenti dei componenti strutturali nelle effettive condizioni di vincolo; fattibilità e ottimizzazione dei velivoli STOL e VTOL e l'attività spaziale come logica estensione della attività aeronautica. Per ciascun contributo si discute la portata, nei vari piani presi in esame, il ruolo nella evoluzione del pensiero sul progetto e si presentano le azioni promosse sia in ambito industriale, sia in ambito accademico, delineando in particolare le attività attualmente svolte al Politecnico di Torino che possono riguardarsi come sviluppo o estensione del pensiero del Gabrielli o che comunque coprono problematiche esplicitamente o implicitamente anticipate dallo stesso.

### INTRODUZIONE

*L'era dell'aviazione ebbe inizio il 17 dicembre 1903.*

*La sua preparazione ebbe luogo in un oscuro negozietto di biciclette in Dayton, Ohio, ove i fratelli Wilbur e Orville Wright, lavorando in mezzo a pneumatici, ruote e pompe, sognarono che l'uomo avrebbe potuto volare con una macchina più pesante dell'aria*

.....

*Il primo interesse attivo per il volo i fratelli Wright lo mostrarono nel 1895 quando vennero a conoscenza degli esperimenti con alianti effettuati in Germania Da Otto Lilienthal.....*

*Ma il 9 agosto 1896 Lilienthal a 48 anni dopo avere effettuato 2000 voli, periva in mezzo a un groviglio di fili, di aste e di tele del suo aliante che un colpo di vento aveva rovesciato in aria.*

*Essi scoprirono che né Lilienthal né gli altri coraggiosi pionieri avevano un metodo adeguato per assicurare l'equilibrio laterale degli alianti. Orville ebbe allora l'idea di rendere variabile l'incidenza delle sezioni alle estremità delle ali in modo da ricavare la forza necessaria a ripristinare l'equilibrio.*

.....

*La loro "macchina volante" era un biplano di 12,3 m di apertura alare, di una superficie di 47,4 mq di 270 kg di peso a vuoto.*

*La macchina era munita di un motore a benzina a 4 cilindri di 12 cv a 1020 giri che essi stessi avevano costruito. Il motore era.....collegato a due eliche..... Con un uomo a bordo questa macchina pesava 340kg.*

.....

*Quale è la ragione fisica del successo dei fratelli Wright?*

*E' che il loro velivolo fu il primo al mondo a possedere una potenza motrice o più precisamente una forza propulsiva sufficiente a vincere la resistenza dell'aria sino a una velocità tale da conferire alle ali, attraverso alla "circolazione", una portanza pari al peso della macchina.*

.....

*Sappiamo oggi come l'origine della "circolazione" nelle ali e quindi della portanza risieda nella viscosità.....*

*Ma queste teorie sull'esistenza della portanza .... non esistevano ed anzi dopo due secoli di ricerche matematiche e fisico matematiche la teoria negava la possibilità del volo .....*

.....  
*D' altra parte nelle discussioni fra credenti e miscredenti del volo del più pesante, questi ultimi portavano un argomento che per l'autorità che proveniva dal nome fermava ogni discussione.*

*Era la formula del seno quadrato data da Newton nel 1687 nei suoi famosi " principi " per il calcolo della resistenza dell'aria su sfere, su cilindri e su coni.*

.....  
*E' veramente ironico il fatto che proprio l'Uomo al quale si deve tutto il complesso della meccanica moderna venga da taluni accusato di aver ritardato lo sviluppo dell'aviazione!*

*IL coraggio e la tenacia dei due giovani meccanici.....*

.....  
*Il coraggio, la perseveranza e l' abilità loro sono paragonabili soltanto alla grandezza delle loro realizzazioni. L'aeroplano rimarrà nel tempo come una delle poche invenzioni veramente grandi le quali hanno foggato la vita e il destino dell'uomo.*

Queste parole sono estratte da una lettura che il Gabrielli fece il 17 Dicembre 1953, in occasione del cinquantenario del primo volo. Il ricordarle qui sintetizza lo spirito di questa celebrazione, che unisce i tre centenari del primo volo e di due grandi del Politecnico di Torino, Gabrielli e Ferrari e, ad un tempo, ci proietta nella pregnante visione che il Gabrielli aveva dell'ingegneria aeronautica, vista in sintesi quale unico corpo di conoscenze e capacità, comprendente dottrina, progetto e prassi, aspetti ai quali tutti egli si applicò, nella centrale finalità del progetto. Egli risulta pertanto attivamente inserito nello sviluppo del pensiero dell'ingegneria aeronautica in tutte le sue componenti. Nel riferimento [ 1 ] si trova fra l'altro una completa bibliografia scientifica del Gabrielli, alla quale si fa qui esplicito rinvio nella sua interessezza.

L'attività aeronautica presuppone, ovviamente, il possesso di entrambe le capacità di progetto e di realizzazione di aeromobili. La prima, quella di progetto, di natura tecnologica e scientifica, la seconda, quella di realizzazione, di natura industriale. Della seconda, in conseguenza dei nostri fini, ci occuperemo solo limitatamente alle interconnessioni con la prima. Il progetto è il risultante di un pensiero o " filosofia ", che nel corso dei cento anni intercorsi dal primo volo ha subito un intenso processo di evoluzione e di estensione della cultura di base necessaria. Nella visione dei fratelli Wright erano già presenti molti dei temi fondamentali dell'odierno pensiero di progetto, anche se ovviamente in forma embrionale, e il Gabrielli partecipò al processo di evoluzione e di estensione con la sua attitudine ad affrontare il problema nella sua estensione globale.

Il velivolo dei fratelli Wright aveva una riserva di combustibile sufficiente per qualche minuto di volo e sviluppò una velocità massima di circa 50 km /h, sollevandosi da terra soltanto di pochi metri. Essi avevano tuttavia realizzato un velivolo da record, per ottenere il quale si dovette sfruttare al massimo il livello tecnico del tempo, in particolare per quanto riguarda la leggerezza delle strutture, il rapporto potenza/ peso del motore e il rendimento dell' elica, ottenendo ad un tempo il massimo offerto dalla tecnologia e il minimo per realizzare il volo. Questo problema, sostanzialmente di fattibilità, era ben presente ai fratelli Wright, visti gli sforzi che essi fecero per migliorare la situazione, in particolare nei tre problemi precedentemente accennati.

Nel contempo era loro ben presente il fondamentale problema della sicurezza, in particolare dal punto di vista strutturale. Nel 1900 Wilbur Wright scriveva a suo padre: "Io sto costruendo la mia macchina in modo che essa possa sostenere 5 volte il mio peso e sto sperimentando ogni pezzo per conto suo. Io penso che così facendo non ci sia possibilità che la macchina si rompa in aria". Egli si preoccupava quindi di stabilire un criterio di sicurezza, prefiggendosi, se si vuole, di ottenere probabilità unitaria di non avere rotture in volo. Nello stesso tempo, adottava il criterio di sottoporre preventivamente esemplari, a questo destinati, di ogni componente della struttura a carichi statici corrispondenti al criterio di sicurezza, per verificarne la rispondenza al di là dei calcoli.

Per quanto concerne le qualità di volo, i fratelli Wright ritennero, secondo alcuni per scarse conoscenze sulla stabilità, che la funzione stabilizzatrice dovesse affidarsi agli organi di governo. Volutamente, per avere facilità nelle manovre, realizzarono una macchina staticamente instabile. Questo fatto, insieme al controllo laterale a mezzo della distorsione dell'ala, caratterizzò i loro voli fino al 1912, conferendo loro notevoli capacità di manovra. I velivoli dei Wright erano, quindi, di pilotaggio psichicamente affaticante ed in un certo senso più " pericolosi". Al problema essi assegnarono una importanza notevole, come risulta anche da un discorso tenuto nel 1901, in cui dissero: " Le difficoltà che ostacolano la via al successo sono principalmente: a) relative alla costruzione di ali sostentatrici, b) relative alla generazione e alla applicazione della potenza richiesta e c) relative al bilanciamento a alla guida della macchina, dopo che questa è realmente in volo. Le prime due sono già, fino a un certo punto, risolte; la terza, la difficoltà a bilanciare e a guidare, è tuttora fonte di opinioni contrastanti fra gli studiosi del problema del volo. Risolto questo ultimo aspetto, si potrà dire che è giunta l'ora delle macchine volanti. Alla soluzione del problema essi diedero un contributo cospicuo, giungendo a concludere sulla necessità di disporre: di un timone orizzontale, della capacità di curvare porzioni della superficie alare e di un timone per il governo laterale. Molte delle soluzioni adottate divennero dominanti anche presso gli altri pionieri, ma non l'instabilità intrinseca. Ben presto infatti i progetti europei che presentavano congiunte e concilianti caratteristiche di stabilità e manovrabilità, primeggiarono per circa un ventennio e questa concezione rimase fin quasi al 1970, per lo meno rispetto a taluni gradi di libertà.

Nel processo di estensione della cultura necessaria al progetto, estensione del tutto naturale e che non sminuisce l'importanza dei fratelli Wright, si possono in particolare citare le problematiche dell'aeroelasticità, della fatica nelle strutture, della sicurezza derivante dagli equipaggiamenti e anche della strategia industriale.

#### 1) IL GABRIELLI NELLA EVOLUZIONE DELLA ATTIVITA' AEROSPAZIALE

Il progetto, con particolare riferimento al campo aerospaziale, può in sintesi essere considerato un complesso di operazioni di natura molto diversificata, che, per rimanere ai concetti più importanti, comprende:

- l'utilizzazione di fenomeni fisici peculiari,
- la analisi, per mezzo della fisica matematica e di altri strumenti di indagine, della fattibilità di un sistema, in relazione soprattutto ai condizionamenti imposti dalla natura per le proprietà dei materiali disponibili e dell'ambiente in cui deve operare il sistema stesso e ai livelli di sicurezza richiesti,
- la dimostrazione con calcoli e prove del soddisfacimento dei requisiti del progetto, tra i quali recentemente si sono evidenziati quelli di affidabilità,
- la dimostrazione del raggiungimento da parte del sistema dei livelli di sicurezza che la collettività impone.

L'aspetto della sicurezza è quello che più fortemente informa di sé il progetto e sul quale non possono essere attuati deroghe o compromessi

La filosofia di progetto in campo aeronautico e, in un tempo più prossimo a noi, in campo spaziale è stata oggetto di una evoluzione intensa e rapida, dovuta all'avanzamento delle prestazioni, all'aumento della durata dei voli e della vita delle macchine, nonché ai fenomeni fisici e ai comportamenti delle macchine che sono emersi dall'esercizio della attività. Giuseppe Gabrielli ha vissuto una parte significativa di tale sviluppo, contribuendovi per capacità realizzative e interpretandolo in modo alto e pregnante per capacità di sintesi e dottrina. La sua visione del progetto aeronautico lo ha portato ben presto a concepire il complesso dei principi, delle dottrine e delle nozioni, che ne costituiscono il fondamento, come una disciplina scientifica organica e il Politecnico di Torino ha voluto farne materia di insegnamento obbligatorio per gli ingegneri aeronautici, caso unico nel panorama delle università italiane e anche straniere, per lo meno nella accezione ancor oggi datane a Torino, dove il problema del progetto viene affrontato da un punto di vista del tutto generale, tenuto conto di tutti i suoi aspetti e nelle sue interfacce con la dottrina, la normativa e la prassi.

La personalità intellettuale del Gabrielli, complessa e articolata, ha fatto sì che la sua azione si sia sviluppata su molti piani, con intersezioni e distinzioni assai complesse, nella visione in lui chiara e operante della necessità di avere un inserimento profondo delle capacità di progetto e industriale nel contesto internazionale, partecipando del livello internazionale.

Per schematizzare e semplificare si possono citare i piani seguenti:

- strategia industriale, che in conseguenza delle dimensioni del nostro paese, da strategia di una singola industria si presenta come parte determinante di quella dello stesso paese.
- filosofia del progetto,
- ricerca e conoscenza scientifica.

Il piano della strategia industriale verrà qui citato limitatamente ad alcuni aspetti fondamentali, aventi relazioni determinanti sui rimanenti, che più interessano, in considerazione del tema che ci siamo proposti.

L'azione del Gabrielli, schematicamente distinta in contributi, può essere presentata secondo la loro cronologia, posizionandoli ciascuno in base al suo momento di maggiore intensità, anche se tra di essi, nelle varie fasi v'è sempre stata osmosi.

#### 2) L'ALA MONOPLANA A SBALZO

Il primo contributo qui preso in esame, quello concernente l'ala monoplana a sbalzo, partecipa del piano della filosofia di progetto, di quello della strategia industriale e di quello della ricerca e della conoscenza scientifica. Infatti, per quanto riguarda i primi due piani, introduce nuove concezioni e nuove architetture nella soluzione del problema di realizzare superfici portanti e, nello stesso tempo, trova per l'attività industriale una via attraverso la quale il mezzo aereo ha potuto essere messo in condizione di svilupparsi verso mercati molto più ampi, sotto forma di mezzo di trasporto. Su questo problema il contributo del Gabrielli si è manifestato nel sostenere nel nostro paese l'adozione della soluzione metallica dell'ala monoplana, riuscendo a realizzare con suo progetto velivoli così concepiti, e nell'effettuare studi sperimentali sul comportamento di tale soluzione in collaborazione con ricercatori stranieri, cosa che ci introduce al terzo piano. L'esame dei risultati ottenuti sorprende per chiarezza e lungimiranza: trattando infatti l'ala così detta a *cassone* viene evidenziato che i momenti torcenti e i momenti flettenti, che conducono separatamente a collasso il cassone risultano sensibilmente vicini e, soprattutto, che, quando vi sono momenti torcenti e flettenti concomitanti, il limite di collasso è descrivibile da una legge di interazione quadratica, identica a quella indicata dalla letteratura e dai manuali di standardizzazione dei metodi di calcolo accettati nel caso di interazione fra sforzi normali e sforzi a taglio nei problemi di instabilità elastica dei pannelli piani. Il primo risultato dipende ovviamente dall'essere approssimativamente la tensione di cedimento a compressione doppia di quella a taglio, mentre i momenti di inerzia delle aree della sezione a torsione sono approssimativamente doppi di quelli a flessione. Esso ha portato anche a pensare che l'ala monoplana potesse essere utilmente concepita come una struttura tubolare, cui affidare i compiti primari di

sopportazione degli sforzi, e da altre parti di forma. Questa idea, come è noto è stata presto abbandonata, sia perché il cassone rispetto al tubo, a parità di spessore di ingombro, consente maggiori momenti di inerzia, sia in considerazione della maggiore integrazione fra parti di forza e parti di forma.

### 3) IL PREZZO DELLA VELOCITA' E LA DISCUSSIONE SULLA FATTIBILITA'

L'indagine statistico sperimentale *A qual prezzo la velocità ?*, condotta con il Prof. Von Karman, riguarda tutti i mezzi di trasporto che operano sulla Terra, destinati ad attraversare l'atmosfera o i mari o ancora a muoversi sulla crosta terrestre o sugli specchi d'acqua, fornendo indicazioni di grande rilievo e di natura generale sui risultati dell'ingegneria nel campo dei trasporti e presentando le conseguenze, sotto forma di limiti invalicabili, dei condizionamenti che la natura oppone alla realizzazione di mezzi più veloci, per effetto della gravità, della natura dell'acqua e dell'aria, degli attriti che si manifestano nella pratica e, ancora, delle capacità dei materiali trovabili in natura di sopportare senza rotture carichi di varia natura ed anche di fornire energia attraverso vari processi chimici. In figura ( 1 ) è riportato uno dei due diagrammi con cui si riassumono i risultati della citata indagine di Gabrielli e von Karman. In ascisse sono riportate le velocità di avanzamento dei vari veicoli in trasferimento orizzontale, in ordinate sono invece riportati i valori della forza trattiva specifica  $\mathcal{E}$ , ovvero il rapporto fra trazione e peso. L'altro diagramma, qui non riportato, porta invece in ordinate le potenze specifiche. Le curve riportate sono gli involuipi inferiori delle zone occupate dai punti rappresentativi dei vari veicoli di quella classe; è chiaro che  $\mathcal{E}$  inferiore significa migliore soluzione. Da tali diagrammi importanti conclusioni possono essere tratte sui veicoli in generale e sugli aeromobili in particolare: per esempio la forza trattiva specifica nelle aeronavi o dirigibili non accenna a crescere con la velocità, inducendo a pensare che si possano realizzare più elevate velocità senza grandi incrementi della potenza di trasporto; una considerazione analoga vale per gli elicotteri; i velivoli e in genere gli aeromobili a sustentazione dinamica sono caratterizzati da alti valori della forza trattiva specifica tanto ad alte velocità quanto a basse velocità rispetto a velocità ottimali, ciò costituisce limitazioni allo sviluppo in entrambe le direzioni. Tralasciando qui altre osservazioni per motivi di spazio, non si può non sottolineare l'importante conclusione –osservazione della esistenza di una retta limite, inviluppo inferiore delle curve delle singole categorie di veicoli, evidenziante un limite tecnologico imposto dai materiali disponibili in natura e dalle caratteristiche dei mezzi da attraversare.

### 4) I MODELLI, LE PROVE E LA ADIMENSIONALIZZAZIONE

I modelli, le prove e la adimensionalizzazione delle leggi fisiche e dei risultati sperimentali e teorici costituiscono per il Gabrielli, da un punto di vista concettuale, un insieme unitario, nel quale attraverso lo strumento della analisi dimensionale apportare chiarezza nel rigore e produrre sintesi di pensiero, in particolare rivolto al progetto. La sua analisi riguarda in generale le leggi che sovrintendono alla effettuazione di prove su modello in generale e si specializza nella similitudine strutturale e nella similitudine dinamica, nelle quali sono comprese la maggior parte delle prove su modelli implicate nell'ingegneria aeronautica, comprese ad esempio le prove di sgancio in volo di corpi vari, le prove di vite, le prove di aeroelasticità e quelle di formazione di ghiaccio. La figura ( 2 ) riporta una delle numerose tavole di cui egli si avvaleva per spiegare nel dettaglio le implicazioni della teoria dei modelli: sono richiamate le implicazioni delle similitudini geometrica, cinematica, e materiale, le quali, nell'approccio che egli prediligeva, nel loro complesso, garantiscono la similitudine dinamica, applicata nella stessa figura al caso della corrente fluida permanente. La possibilità di mettere sotto forma adimensionale le interpretazioni dei fenomeni fisici, passaggio obbligato della teoria dei modelli in scala, suggerisce di utilizzare lo stesso strumento per riportare i risultati sperimentali, come ad esempio nel problema del comportamento dei giunti rivettati, ed anche risultati teorici, come ad esempio nel caso dei limiti di stabilità delle strutture soggette a compressione, a taglio o ad altre condizioni di carico suscettibili di provocare ingobbamenti. Sia nel caso dei risultati sperimentali, sia nel caso di risultati teorici, l'idea è quella di adottare gruppi adimensionali contenenti o solo dati di progetto o solo incognite di progetto, in modo da poter usare le rappresentazioni in via diretta nel progetto. Nella figura ( 3 ) è riportato un diagramma, da me ricavato nel solco dell'impostazione del Gabrielli, utilizzabile direttamente in progetto, relativo al comportamento di cilindri circolari lunghi e di transizione, soggetti a compressione assiale, nella ipotesi che i dati di progetto siano: il carico a rottura, la lunghezza e il raggio del cilindro e sia noto il materiale con le sue caratteristiche di elasticità. In ascisse e in ordinate figurano parametri adimensionali, dipendenti solamente da dati di progetto o dal materiale: con il diagramma proposto è possibile ricavare direttamente se il cedimento avverrà come cilindro lungo o di transizione, l'appropriato rapporto fra raggio e spessore ( progetto del cilindro ) e un parametro adimensionale con il quale risalire alla tensione di rottura. Di fatto nella comune letteratura i dati sui comportamenti strutturali sono di solito riportati in forma adatta alle operazioni di verifica. La concezione che abbiamo delineata riguarda pertanto il piano della filosofia di progetto e quello della ricerca e della conoscenza scientifica. Di particolare interesse risultano le evidenziazioni dei significati fisici dei più comuni gruppi adimensionali delle similitudini fisiche, nel contesto della natura delle equazioni costituenti il modello matematico del problema in esame.

### 5) LA RINCORSA INDUSTRIALE E IL SISTEMA PAESE

A questo punto della analisi dell'influenza del Gabrielli si inserisce un contributo sul piano della strategia industriale, attraverso l'avvio di una rincorsa tecnologica industriale, attraverso le licenze, e un contributo alla realizzazione di un sistema paese nella tecnologia aeronautica, che ha avuto decisive conseguenze sullo sviluppo delle capacità del nostro paese di inserirsi nel contesto internazionale. Le vicende attraversate dal nostro paese avevano provocato un *gap* tecnologico in campo aeronautico. La scelta di realizzare su licenza velivoli di progetto avanzato, rispetto alle capacità tecnologiche presenti, oltre a portare lavoro, cosa sempre utile, permisero una sorta di rincorsa tecnologica industriale, sia per le capacità di concepire soluzioni e sviluppare progetti, sia per le capacità produttive, nei vari aspetti in cui queste si articolano, sia infine per le capacità di condurre prove di volo. La rincorsa tecnologica in particolare riguardò la realizzazione di velivoli con ali e impennaggi a freccia e dotati di motori a reazione. Il contributo al sistema paese si riscontra anche nel ruolo dal Gabrielli giocato nella scelta operata da parte degli enti competenti di Norme destinate a presiedere alla progettazione e alla costruzione di aeromobili civili, per le quali si scelse di assumere come riferimento costante le Norme civili americane, il cui livello di tecnologia difficilmente si sarebbe potuto attingere dalle sole forze interne. Questa linea fu adottata da molti altri paesi e, di fatto, anche le più recenti Norme Europee, ora dal nostro paese fatte proprie in sostituzione di quelle nazionali, nella sostanza adottano la stessa linea. Sullo stesso piano va collocata l'azione che il Gabrielli sviluppò nell' AGARD, Ente voluto dal von Karman, di cui fu dalla costituzione Delegato civile nazionale, e da cui fece sì che il nostro paese ricavasse il massimo possibile di benefici sul terreno della crescita tecnologica, attraverso una oculata scelta dei membri dei vari pannelli.

#### 6) IL PROGETTO COME SINTESI DELLE INTERDIPENDENZE

Va a merito del Gabrielli l'aver concepito, dal principio della sua attività e in una ristretta cerchia di studiosi, il progetto come sintesi e risultato delle mutue interdipendenze fra i componenti del sistema, nel rispetto del tema operativo e delle prescrizioni regolamentari, visione che, insieme alla profonda conoscenza dei fenomeni fisici coinvolti nella progettazione aeronautica, gli ha consentito di collocarsi autorevolmente nel novero internazionale dei progettisti, stimato e apprezzato. Ne sono testimonianza, esterna alla sua attività di progettista, che ha generato la lunga serie di velivoli siglati "G" dalla iniziale del suo nome, i suoi lavori:

- sul peso delle ali e delle altre parti del velivolo, sulla base del peso totale, della potenza e delle altre caratteristiche generali, che il livello tecnologico consentiva;
- sulla determinazione della superficie alare e del suo allungamento, a partire da requisiti fondamentali, quali la velocità minima e la quota di tangenza, lavori che introducono al concetto di *avamprogetto*.

In figura ( 4 ) è riportata la formula di natura semiempirica, fondata su una analisi razionale della struttura della stessa e su analisi statistiche per determinarne coefficienti e termini correttivi, in confronto con analoga formula dovuta ad altro autore.

Alla predetta testimonianza si deve aggiungere qui il suo interesse per il concetto del "fattore di ingrandimento" nelle diverse accezioni comparse nella letteratura internazionale, al quale ha dedicato lavori e che ha mostrato nelle sue implicazioni agli studiosi che gli erano vicini. In sintesi, in una delle accezioni, tale fattore è il rapporto fra il peso totale e il peso, detto *fisso*, di quelle parti, come il carico pagante, il peso dell'equipaggio minimo e il peso degli strumenti fondamentali per il volo, che non sono implicati in cambiamenti quando, a livello di definizione della configurazione, si cambiano le prestazioni e le caratteristiche della macchina. In un'altra accezione il fattore di ingrandimento è la derivata del peso totale rispetto al peso fisso, nella stessa visione del cambiamento di prestazioni e caratteristiche. In ogni caso il valore del fattore di ingrandimento è espressivo della posizione del tema operativo rispetto ai limiti di fattibilità: quanto più il fattore è elevato, tanto più si è vicini ai limiti tecnologici, dove si ha valore infinito. In figura ( 5 ) sono riportate le due diverse definizioni dovute al Driggs e al Ballhaus, nonché le relative espressioni in funzione dei rapporti fra i pesi di componenti e il peso totale o di derivate degli stessi pesi rispetto al peso totale o alla superficie alare. Evidentemente un minor valore del fattore di ingrandimento significa un minore onerosità delle specifiche a parità di qualità del progetto e una migliore qualità del progetto a parità di specifiche. In figura ( 6 ) si mostra invece un impiego del concetto di fattore di ingrandimento per analizzare in sede di progetto preliminare l'onerosità in peso di richieste di variazione di qualche specifica. Ad esempio una richiesta di maggiore robustezza influirebbe sostanzialmente sul rapporto fra il peso strutturale e quello totale e al variare di tale rapporto si avrebbe l'andamento indicato del fattore di ingrandimento secondo Driggs.

L'avamprogetto è ora fase essenziale dell'iter di progetto, presentandosi con denominazioni differenti nelle varie lingue e con contenuti anche un poco differenti da realtà a realtà progettuale, nella quale fase si sono avute evoluzioni concettuali e di contenuto, venendo a costituire parte significativa di una disciplina accademica che possiamo indicare come "ingegneria sistemistica". Al Politecnico di Torino la spinta in questa direzione, proveniente dal Gabrielli, ha dato luogo ad attività che hanno accompagnato l'evoluzione in campo internazionale. In ordine di tempo si sono avuti studi sulla previsione dei pesi dei vari componenti il velivolo e l'avvio di studi sulla individuazione a livello di "progetto concettuale" delle ripercussioni delle scelte architettoniche. Successivamente si pervenne alla elaborazione di metodi automatizzati di avamprogetto, corredati da moduli di grafica automatizzata capaci di visualizzare viste e sezioni dei progetti concettuali elaborati, pervenendo in particolare per i velivoli da trasporto alla modellazione di un velivolo "capace di compiere una missione" da sottoporre automaticamente a verifiche per varie prestazioni richieste. Più recentemente sono stati sviluppati metodi automatizzati relativi a velivoli da combattimento e da addestramento, nonché

di veicoli transatmosferici con l'introduzione dei moderni strumenti CAD parametrico, che ha permesso di tenere in conto nel progetto concettuale delle scelte architettoniche e della installazione dei componenti della sistemistica di bordo, con verifica zonale della sicurezza.

#### 7) IMPORTANZA DI SICUREZZA E AFFIDABILITA' DI UN AEROMOBILE

La visione del Gabrielli sulla sicurezza fu ad un tempo professionale e dottrinale. Dal punto di vista professionale egli diede una rigorosa impostazione alla attività industriale, con separazione all'interno della stessa industria dei compiti di calcolo e di prova, sia per quanto attiene ai carichi ad applicazione statica, sia per i carichi di fatica, allora disgiunti nella visione del progettista. La capacità di svolgere prove statiche e prove di fatica, queste nuove nel panorama tecnologico italiano in aeronautica, fu portata a livelli di eccellenza, nella consapevolezza che l'ultima parola sulla rispondenza della struttura deve essere data appunto dalle prove. Per la fatica in particolare promosse la realizzazione di impianti di prova, sia in ambito industriale, sia in ambito universitario e avviò ricerche sperimentali di varia natura. Per parecchio tempo, prima dello svilupparsi di importanti e significative capacità in altre università e industrie, la partecipazione italiana al dibattito internazionale sulla fatica in aeronautica era nella sostanza fornita dal gruppo di collaboratori che egli aveva avviato su questa strada; si circondò infatti di capaci collaboratori i quali, mentre svolgevano i compiti industriali in materia, furono protagonisti di apprezzato inserimento nel dibattito internazionale, allora completamente aperto, sui problemi della sicurezza strutturale da fatica, in relazione a come correttamente effettuare le prove, a come interpretarle e a come derivarne dati per il progetto e per le conclusioni sulla sicurezza. Nello stesso tempo promosse una capacità di eccellenza nello svolgimento di prove di volo, coprendo così tutte le problematiche del progetto aeronautico. Da un punto di vista dottrinale egli avvertì che v'era spazio per una teoria della sicurezza, in particolare strutturale, come dimostrano sue pubblicazioni sull'argomento. Questo aspetto, che possiamo definire di filosofia del progetto, che affronta modernamente gli aspetti probabilistici della sicurezza, con riferimento a tutti gli aspetti del progetto stesso, con tutte le implicazioni di natura teorica e concettuale, è coltivato al Politecnico quale naturale evoluzione del pensiero del Gabrielli sul tema centrale del concepimento di una macchina aerea.

Fu certamente tra i primi a intuire l'importanza della affidabilità per il successo di un aeromobile moderno. Questa affermazione deriva non dal contenuto di pubblicazioni ma da esperienza diretta, non meno importante, relativa alle fasi di impostazione del progetto di un velivolo destinato a un concorso internazionale, nelle quali impose l'adozione di parti, in particolare degli impianti, sovradimensionate rispetto ai carichi e alle portate, con la quale scelta, spiegò ai suoi collaboratori, intendeva eliminare o ridurre al minimo le probabilità di guasti. Proprio per questa caratteristica il velivolo risultò vincitore nel concorso, le cui prove si svolsero a Parigi. Certo oggi la decisione adottata sembrerebbe drastica e rozza, ma al momento non vi era ancora la capacità di gestire con tecniche più raffinate il problema e questa specie di taglio del nodo gordiano appare invece contenere in nuce, oltre l'intuizione della importanza della affidabilità, anche una anticipazione di una posizione cui il pensiero sul progetto è pervenuto solo recentemente, dopo un periodo in cui l'esame dalla affidabilità è stata relegata alle ultime fasi del progetto, e cioè all'inserimento nelle primissime fasi del progetto delle previsioni di affidabilità e sicurezza, pervenendo così al *progetto fondato sulla analisi del rischio*. Nello stesso velivolo l'adozione di portelloni, supportanti armi e munizioni, di enorme facilità di sostituzione, ci mostra la sua previsione dei vantaggi della manutenibilità e della prontezza operativa. Questo aspetto dell'insegnamento del Gabrielli, al Politecnico di Torino fu sviluppato con studi sui sotto-sistemi di bordo e su sicurezza, affidabilità, manutenzione e costi e con la realizzazione di metodologie di simulazione di operazioni di velivoli e flotte. In particolare il corso a lui più caro "Progetto di aeromobili" fu sviluppato con lo scopo principale di presentare il progetto come ottimizzazione a fronte di un tema operativo ma sotto la condizione dell'ottenimento e della dimostrazione del livello di sicurezza richiesto dalla collettività.

#### 8) COMPORTAMENTO DEI COMPONENTI NELLE EFFETTIVE CONDIZIONI DI VINCOLO E DI IMPIEGO

Fu certamente tra i primi, in accordo con suoi collaboratori, cresciuti alla sua scuola sui problemi del progetto, ad enunciare la necessità di esaminare i comportamenti di ogni componente, degli equipaggiamenti o delle strutture, nelle effettive condizioni di impiego. Per quanto concerne gli equipaggiamenti, l'idea portò ad esempio: a determinare con prove apposite l'effettivo valore dei moduli elastici delle funi, impiegate nelle trasmissioni di comando, per meglio calcolare i loro comportamenti. In figura (7) è riportata una analisi del modulo elastico (convenzionale per area di riferimento) di una tipica fune per trasmissione di comando: la fune è una struttura assai complessa e nella figura sono riportati sia risultati di teorie semplificate, sia i risultati sperimentali, i quali indicano che in una fascia di valori della tensione applicata il modulo elastico può essere ritenuto costante. Il considerare le effettive condizioni di impiego di ogni componente portò anche a determinare dinamicamente con prove apposite i comportamenti dei sistemi di comando, tenendo conto delle effettive condizioni create dai precarichi delle sensibilità artificiali, dalle leggi di apertura dei cassette di distribuzione dei martinetti idraulici e, ancora, dalle cedevolezza degli organi di collegamento, ivi compreso l'olio idraulico, quindi in una visione non lineare e il più possibile realistica del problema, fondamentale nello studio delle cause del maggiore o minore gradimento da parte dei piloti delle qualità di maneggevolezza del velivolo. E' da questi studi che hanno preso le mosse le sofisticate analisi dei comportamenti dei sistemi di comando, nelle quali si tiene anche conto dei giochi meccanici, altra fonte di non linearità insieme agli attriti. Come è noto, la parte giocata dal comportamento delle linee di comando fu studiata in particolare nei decenni successivi alla seconda guerra: il Gabrielli fu tra gli studiosi che intuirono l'influenza sulla controllabilità di attriti e giochi nelle trasmissioni, nonché l'effetto

stabilizzante delle componenti di sforzo di barra antagoniste della velocità di attuazione del comando e quindi essenzialmente smorzante. ( 8 ) Tra le numerose idee che egli avanzò ed esaminò vi fu quella di ridurre gli attriti nelle trasmissioni di comando per mezzo di vibrazioni meccaniche imposte alla trasmissione : in figura ( 8 ) sono riportati alcuni risultati sperimentali ottenuti su una trasmissione di comando dallo stesso Gabrielli in collaborazione con Cereti e me stesso. Su questo argomento Cereti ed io, anche nel tentativo di fornire una base teorica alla idea del Gabrielli, affrontammo anche il problema non lineare dell'attrito apparente in una coppia cinematica soggetta ad attrito, per altro costante. In figura ( 9 ) sono riportati i grafici dell'attrito apparente in funzione dei parametri che caratterizzano la forza vibrante con la quale imporre moti alla coppia cinematica. Distinguendo, parlando per schemi, tra attriti e giochi nelle linee di comando reversibili e nelle porzioni a monte del servocomando nelle trasmissioni irreversibili idromeccaniche ( principalmente adottate al tempo del Gabrielli ) e attriti e giochi nei servocomandi e nelle porzioni di linea a valle nelle linee irreversibili ( intervenute successivamente ), nel primo caso essi influenzano direttamente gli sforzi di barra , mentre nel secondo hanno effetto sul comportamento dinamico del servocomando. In entrambi i casi influenzano però le qualità dinamiche del sistema pilota-comando-velivolo-aumentatore di stabilità. Negli anni in cui il Gabrielli si dedicò a questi studi i comandi di volo presentavano il primo dei casi di attrito e giochi ed è quindi naturale che a tale problema egli si sia applicato, intuendo l'importanza di attriti e giochi nella controllabilità dei velivoli, pervenendo alla conclusione che è opportuno che essi siano limitati sia inferiormente ( troncamento delle perturbazioni ambientali ) sia superiormente ( precisione della azione di controllo ). Resta tuttora valida, anche con il passaggio ai comandi irreversibili, l'intuizione del Gabrielli, che può essere oggi formulata dicendo che in particolare l'attrito agente sul gruppo di attuazione della superficie mobile non deve essere troppo grande per l'accuratezza della funzione di regolazione, ma non deve essere troppo piccola per esercitare una azione di contrasto delle piccole accidentali perturbazioni.

Per quanto concerne le strutture, di particolare rilievo l'idea di esaminare il comportamento strutturale nelle effettive condizioni di lavoro di ogni singolo componente, costretto dalla appartenenza alla struttura a deformazioni le quali, in combinazione con i carichi applicati, possono ingenerare evoluzioni, oltre tutto non lineari, dello stato del componente stesso. Questa linea di pensiero ha dato luogo a lavori sperimentali sulla flessione e sulla torsione di strutture a cassone, che hanno evidenziato l'importanza degli effetti di concomitanza fra le deformazioni indotte dalla appartenenza alla struttura e i carichi applicati e in qualche caso anche effetti delle suddette deformazioni sul manifestarsi di fenomeni di imbozzamento. In figura ( 10 ) sono riportati i risultati relativi ad un particolare esemplare di tronco alare soggetto a flessione pura, facente parte di una più ampia ricerca sperimentale. Il provino e in parte l'attrezzatura di prova sono illustrati nella stessa figura. L'andamento delle frecce in funzione del parametro proporzionale al momento applicato indica chiaramente la forma della deformata e la presenza di un effetto di pressione trasversale dovuta alla forma sostanzialmente cilindrica assunta dal pannello per effetto della sua appartenenza al cassone. ( 11 ) In particolare si è potuto scoprire un effetto non noto in letteratura per il quale i pannelli rettangolari di una struttura a cassone, soggetta a torsione, a causa delle rotazioni delle sezioni trasversali, si possono comportare come triangolari, secondo i triangoli generati dalla loro diagonale, che per la piegatura indotta nel pannello, si comporta come un irrigidimento. L'effetto è stato spiegato anche teoricamente, tenendo appunto in conto le deformazioni indotte. In figura ( 11 ) si vede il comportamento di pannelli sufficientemente grandi, in relazione allo spessore, da potersi evidenziare l'effetto in questione, nonché l'andamento delle rigidezze torsionali nell'intorno del momento di imbozzamento.

#### 9) FATTIBILITA' E OTTIMIZZAZIONE DEI VELIVOLI STOL E VTOL

Il contributo del Gabrielli alla discussione internazionale sulla fattibilità e sulla ottimizzazione dei velivoli STOL e VTOL fu, probabilmente, il più pregnante relativamente al progetto, in particolare negli aspetti di avamprogetto e di discussione preliminare dell'onere, principalmente in peso, dei vari requisiti. In uno studio parametrico presentato in un *meeting* internazionale dedicato all'argomento si trovano, esplicitamente o in nuce, le idee a fondamento degli studi di progetto preliminare anche attualmente effettuati. Per l'approntamento di tale studio, presentato come posizione ufficiale della più importante Ditta italiana, ingaggiata in una gara internazionale che non ebbe un seguito pratico, chiamò alla collaborazione tecnici cresciuti alla sua scuola, impartendo precise e rigorose, da un punto di vista ingegneristico, indicazioni sullo scopo, sulle modalità e sulle fonti da utilizzare, ottenendo un lavoro organico e innovativo in quanto a impostazione del progetto. In figura ( 12 ) sono riportate le conclusioni del predetto studio a proposito di due soluzioni, una con motore singolo orientabile e una con sistema di motori di propulsione e di sustentazione composito, per le quali a livello di avamprogetto si dimostra la netta prevalenza della seconda. In figura ( 13 ) si mostra anche la netta prevalenza della stessa soluzione composita in quanto a flessibilità del progetto, per influenze del raggio di azione sul peso totale. In figura ( 14 ) si mostra la flessibilità del progetto per entrambe le soluzioni per l'influenza del raggio di azione sul carico pagante a parità di altre condizioni. Infine in figura ( 15 ) si mostra l'influenza del carico militare sul peso totale a parità di altre condizioni.

#### 10) L'ATTIVITA' SPAZIALE COME LOGICA ESTENSIONE DELLA ATTIVITA' AERONAUTICA

L'attività spaziale appare come logica estensione della attività aeronautica, soprattutto nella realizzazione dei sistemi capaci di svolgere l'attività stessa. Quando per il nostro paese i tempi furono maturi per entrare in questo settore, il

Gabrielli imprese all'attività industriale aeronautica l' impulso per estendere il campo di azione allo spazio, iniziando dalla progettazione di satelliti artificiali e scudi termici per la loro protezione nelle prime fasi del lancio. Seguendo anche in questo campo l'idea di affiancare alla attività industriale vera e propria attività di ricerca sia nella industria, sia nell'università, promosse ricerche sui materiali avanzati, quali quelli ablativi, le fibre di boro e altri. In particolare la progettazione degli scudi termici condusse ad impadronirsi della tecnologia dei materiali compositi, nella quale l'industria del nostro paese trovò importanti occasioni di lavoro. Successivamente l' attività industriale si estese ad interessi di varia natura. Ai materiali compositi si dedicò molto anche il Politecnico di Torino, con estese indagini sperimentali e approfondite analisi teoriche che lo pongono attualmente in posizione di eccellenza in campo internazionale. L'aspetto sperimentale fu avviato dallo stesso Gabrielli, con ricerche rivolte a rispondere a interrogativi generali e di natura fondamentale: il comportamento a temperature diverse dall'ambiente naturale, l'influenza sulle caratteristiche meccaniche di scostamenti dei cicli di polimerizzazione da quelli corretti, il comportamento a fatica e altri. Successivamente alla azione diretta del Gabrielli furono sviluppate ricerche sui coefficienti di espansione termica e igroscopica nelle tipiche condizioni di temperatura e pressione degli impieghi spaziali, attività che hanno richiesto l'approntamento di adeguate attrezzature sperimentali, sulla tecnologia di produzione di strutture in materiale composito, sul comportamento anche postcritico di pannelli lisci e nervati , sottoposti a carichi anche combinati, attività questa che rappresenta anche una continuazione delle ricerche analoghe del Gabrielli su pannelli in lega di alluminio, e infine ricerche sul comportamento di cassoni alari sottoposti a flessione o torsione, nella linea delle già citate indagini tenenti in conto l'effetto della appartenenza a strutture complesse per deformazioni imposte ai singoli elementi. I materiali compositi e le strutture in tali materiali divennero poi un punto di eccellenza delle ricerche di tipo teorico al Politecnico di Torino dove si hanno al momento diversi studiosi affermati in campo internazionale.

#### OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Si può ben dire che la statura del Gabrielli gli consentì di influire su tutti gli aspetti della attività aeronautica e spaziale, in particolare del nostro paese.

Mi sembra pertanto appropriato chiudere questo intervento rivolto a ricordarne la figura con una proposta riguardante il problema della sicurezza in campo spaziale. Attualmente i sistemi spaziali, in specie quelli *abitati*, sono promossi e realizzati da agenzie governative o assimilabili a governative, quindi tali da potersi considerare espressioni della collettività, e tali agenzie indicano e decidono anche i livelli di sicurezza accettabili. D'altra parte, gli equipaggi fino a qui coinvolti sono da considerarsi altamente specializzati e consapevoli della natura delle missioni loro affidate. Andando però verso il coinvolgimento di persone sempre meno consapevoli e dedicate, fino a semplici passeggeri, sembra auspicabile che le due funzioni di realizzare un sistema e decidere i livelli di sicurezza ammissibili vengano affidate a Enti diversi, in modo che a quello cui compete la definizione della sicurezza sia affidato anche il compito di verifica. Tale Ente, espressione della collettività nei modi che ciascun paese vorrà adottare, dovrebbe procedere per ogni progetto ad omologazione e per ogni esemplare ad immatricolazione, contenente questa prescrizioni sulle modalità di impiego, testimonianze entrambe del soddisfacimento dei prescritti livelli di sicurezza. In tal modo l'Ente che realizza il sistema potrebbe anche essere *privato*.

#### Riferimenti

- [ 1] GABRIELLI A., *Giuseppe Gabrielli: una biografia, un ricordo*, Ed. OTTO, Torino, In corso di stampa.
- [ 2] GABRIELLI G., *Rievocazione del volo dei fratelli Wright nel suo cinquantenario*, Rotary Club Torino, Dicembre 1953.
- [ 3] GABRIELLI G., *Lezioni sulla scienza del progetto degli aeromobili, Vol. I e Vol. II*, Ed. Levrotto e Bella, 1974, Torino.
- [ 4] PERKINS C.D., *Development of airplane stability and control tecnology*, Journal of aircraft, Vol. 7, No. 4.
- [ 5] ANTONA E., CERETI F., *Sull'attrito apparente di una coppia cinematica soggetta ad una foza vibrante o a un moto vibratorio relativo*, "Ingegneria Meccanica", Nø 7, Luglio 1963.
- [ 6] ANTONA E., CERETI F., *Studio sperimentale sull'attrito nelle trasmissioni di comando per le superfici di governo dei velivoli*, "L'aerotecnica", Nø4, Luglio-Agosto 1963.
- [ 7] ANTONA E., GABRIELLI G., MASSA P.M., *Determinazione sperimentale del moduloelastico di funi per trasmissioni di comando dei velivoli*, Congresso Nazionale AIDA – AIR, 1965, Napoli.
- [ 8] ANTONA E., GABRIELLI G., MASSA P.M., *Determinazione sperimentale del modulo elastico di funi per trasmissioni di comando dei velivoli*, Atti della Accademia delle Scienze di Torino, Vol. 100, 1965/66.
- [ 9] ANTONA E., *Indici di bontà dei cilindri circolari lisci sottili a temperatura uniforme che cedono per instabilità locale elastica*, Atti della Accademia delle scienze di Torino, Vol. 101, 1966/67.
- [ 10] ANTONA E., *Contributo alla teoria e alla applicazione del fattore di ingrandimento in peso dei velivoli*, 1967. Pubblicazione nø 41 Istituto di progetto di Aeromobili del Politecnico di Torino, 1967.
- [ 11] ANTONA E., *Diagrammi generalizzati di progetto dei cilindri circolari sottili compressi assialmente*, " Rivista di Ingegneria", Nø 12, Dicembre 1967.



- [12 ] ANTONA E., GABRIELLI G., *An experimental investigation on wing box beams in bending*, 7th International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS), Settembre 1970.
- [13 ] ANTONA E., GABRIELLI G., *Un'indagine sperimentale su strutture alari a cassone soggette a torsione*, II Congresso Nazionale AIDAA, Pisa , Settembre 1973.
- [14 ] ANTONA E., GABRIELLI G., *Un' indagine sperimentale su strutture alari a cassone soggette a torsione,* " l'Aerotecnica Missili e Spazio", n° 1, 1974.
- [15 ] ANTONA E., GRASSO A., *Comportamento dei pannelli lisci di rivestimento di strutture a cassone soggette a torsione*, III Congresso Nazionale AIDAA, Torino, Settembre/Ottobre 1975.
- [ 16] GABRIELLI G., *Parametric investigation on STOL aircraft*, AGARDograph 46, Giugno 1960.