

POLITECNICO DI MILANO



Progetto Scientifico del

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali
(DAST – Department of Aerospace Science and Technology)

per il quadriennio 2013/2016

Indice

1.	Ragioni fondative e missione.....	3
1.1	Background dipartimentale.....	3
1.2	Importanza del settore aerospaziale.....	3
1.3	Visione, missione e obiettivi.....	4
1.4	Impegno scientifico.....	4
1.5	Organizzazione.....	5
2.	Competenze, linee e reti di ricerca e trasferimento tecnologico.....	7
2.1	Competenze.....	7
2.2	Linee di ricerca.....	13
2.3	Le azioni, le risorse e le infrastrutture necessarie per perseguire gli obiettivi di ricerca.....	18
2.4	Posizionamento interno ed esterno.....	19
2.5	Trasferimento tecnologico.....	20
3.	Rapporto tra ricerca e formazione.....	21
4.	Laboratori e altre strutture dipartimentali.....	22
5.	Strategie di internazionalizzazione.....	23
	Allegato 1 – Progetto Culturale.....	24
	Allegato 2 – Keywords.....	24
	Allegato 3 – Docenti afferenti.....	24

1. Ragioni fondative e missione

Il nuovo Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali (DAST) del Politecnico di Milano nasce dal ricco patrimonio culturale di cui l'Ateneo dispone nel settore dell'ingegneria aerospaziale e si apre allo sviluppo di un più ampio spettro di competenze attinenti alle moderne scienze e tecnologie aerospaziali. Il presente Progetto Scientifico prende forma dalle premesse contenute nel Progetto Culturale che ha accompagnato, quale documento fondativo, la gestazione di questa realtà dipartimentale (Allegato 1 – Progetto Culturale).

Il nuovo dipartimento assorbe l'esistente Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale (DIA) e ne prosegue le attività. Nel contesto del riassetto dipartimentale dell'intero Ateneo, tre elementi concorrono a motivare la fondazione del Dipartimento DAST: (1) la solida tradizione di ingegneria aerospaziale maturata nei decenni al Politecnico di Milano; (2) la rilevanza scientifica, economica e strategica del settore aerospaziale oggi riconosciuta in tutto il mondo; e (3) la consapevolezza di un ruolo primario da dovere esercitare nel settore aerospaziale. Il nuovo Dipartimento si configura oggi come l'unica realtà accademica integralmente dedicata alle scienze aeronautiche e spaziali nel panorama nazionale.

1.1 *Background dipartimentale*

Il Politecnico di Milano ha una solida tradizione in ingegneria aeronautica, come delineato nell'Allegato 1 – Progetto Culturale (Sezione I.3 – Department Background). Essa risale alle innovative esperienze del suo celebre alunno Enrico Forlanini nel tardo XIX secolo e percorre le tappe del primo corso di Aeronautica nel 1910, del Centro di Volo a Vela attivo negli anni '30, della fondazione dell'Istituto di Ingegneria Aeronautica negli anni '50, della nascita del DIA negli anni '80. Una forte crescita del DIA si è avuta negli anni a cavallo tra il XX e il XXI secolo, in termini sia di docenti afferenti che di laboratori sperimentali. Si sono realizzati o potenziati laboratori di prove aerodinamiche e di prove strutturali, laboratori di componenti e di propulsori per lo spazio, laboratori per lo studio e la caratterizzazione dei materiali, laboratori di crash, laboratori per prove in volo. Questa forte crescita è stata supportata da un considerevole autofinanziamento tramite fondi privati, pubblici o dell'unione europea – per un totale di 20 M€ nella prima decade del XXI secolo.

1.2 *Importanza del settore aerospaziale*

La rilevanza, in costante crescita, delle attività aerospaziali nel mondo è delineata nell'Allegato 1 – Progetto Culturale (Sezione I.2 – Aerospace in the World). Il traffico aereo mondiale è previsto che raddoppi nei prossimi 15 anni, con un incremento medio annuale del 4.8%. Una consistente parte delle attività spaziali costituisce ormai oggi un insieme di servizi sociali acquisiti e irrinunciabili nei campi delle comunicazioni, della navigazione, dell'osservazione della Terra e della meteorologia. Mentre i paesi europei e gli Stati Uniti, forti di lunghe tradizioni, mantengono posizioni di leadership nel settore aerospaziale, un numero crescente di altri paesi sta attrezzandosi per sviluppare o potenziare le proprie attività in campo aeronautico o sta aprendo agenzie spaziali, come in atto ad esempio nei paesi BRIC.

L'attività aerospaziale ha da sempre aperto la strada all'innovazione tecnologica in molti settori. Oggi e nel prossimo futuro, lo sforzo della ricerca e dell'industria è focalizzato sul perseguire l'efficienza globale, ne è un segnale significativo lo sviluppo formidabile dei velivoli senza pilota (UAV). I vincoli di natura ambientale sono ormai considerati di primaria importanza, sia nella progettazione delle cellule e degli impianti di bordo, sia nella gestione delle traiettorie di volo e degli spazi aerei.

Il DAST si propone di essere protagonista proattivo in questo contesto aerospaziale. Esso eredita dal DIA rapporti di collaborazione scientifica con numerosi paesi di tutti i continenti (il DIA ha partecipato a 27 progetti finanziati dall'Unione Europea a partire dal FP3, ed è attualmente partner in 12 progetti europei FP7), e con le principali industrie aerospaziali del paese (in particolare AgustaWestland, Alenia AerMacchi, Piaggio Aero Industries, CGS (Compagnia Generale per lo Spazio)). Con AgustaWestland è stata fondata la

società consortile AWPARC (AgustaWestland–Politecnico Advanced Rotorcraft Center) per ricerche, sviluppo, trasferimento tecnologico e servizi nel settore degli aeromobili a decollo verticale.

1.3 *Visione, missione e obiettivi*

L'espansione e l'evoluzione dell'aerospazio e le sfide emergenti che sono andate delineandosi in questi anni costituiscono importanti opportunità per la ricerca e lo sviluppo. La prospettiva del nuovo Dipartimento è di potere essere riconosciuto internazionalmente come una delle istituzioni trainanti nella comunità aerospaziale mondiale, impegnata a perseguire traguardi di eccellenza nella ricerca, nella formazione e nel trasferimento delle conoscenze e delle tecnologie.

La missione del DAST si sintetizza nei seguenti punti:

- Custodire e sviluppare un significativo patrimonio culturale in campo aerospaziale attraverso una ricerca di punta, mirata alla soluzione dei problemi più significativi emergenti dallo scenario internazionale, e promuovere una intensa ricerca di base in grado di anticipare i problemi futuri.
- Sviluppare tecnologie all'avanguardia che consentano di rivestire un ruolo proattivo nelle collaborazioni industriali.
- Fornire agli studenti consolidate competenze tecnico-scientifiche e curare una formazione di eccellenza, preparando ingegneri qualificati per posizioni di rilievo anche nei molteplici settori affini e collaterali all'aerospazio.
- Ottenere e consolidare una posizione di leadership nella comunità aerospaziale nazionale e internazionale.

Per realizzare questa missione, il DAST si propone di:

- promuovere opportunità di ricerca in collaborazione con università e industrie di tutto il mondo;
- formare giovani attraverso approcci didattici moderni e scambi internazionali di docenti e studenti;
- innalzare il corso di dottorato a un livello internazionale di primo piano;
- incrementare la capacità di autofinanziamento favorendo connessioni nazionali e internazionali;
- mantenere laboratori e attrezzature allo stato dell'arte;
- contribuire a migliorare la posizione del Politecnico nelle classifiche internazionali.

1.4 *Impegno scientifico*

Il Dipartimento esercita il proprio ruolo nel settore aerospaziale globale attraverso un impegno scientifico di formazione e di ricerca di alto livello, esportando tecnologie avanzate in diversi settori della società civile, promuovendo la collaborazione con industrie, aziende ed enti pubblici e privati, italiani ed esteri, e favorendo l'internazionalizzazione del corpo docente e della popolazione studentesca.

Per onorare questo impegno scientifico si sono stabiliti un piano strategico della ricerca e un impegno nella formazione, esposti in dettaglio nell'Allegato 1 – Progetto Culturale (Sezione II e Sezione III).

Il piano di ricerca si basa su tre aree strategiche che rappresentano opportunità importanti per l'aerospazio e per la società:

1. *Aviazione e Ambiente* – Obiettivo: ridurre l'impatto ambientale dell'aviazione e trasferire tecnologie di punta ad altri settori quali, ad esempio, il settore delle energie rinnovabili.
2. *Sistemi Aerospaziali Complessi* – Obiettivo: sviluppare tecniche multidisciplinari, sia sperimentali che di modellazione e simulazione, per riprodurre e controllare sistemi aerospaziali complessi.

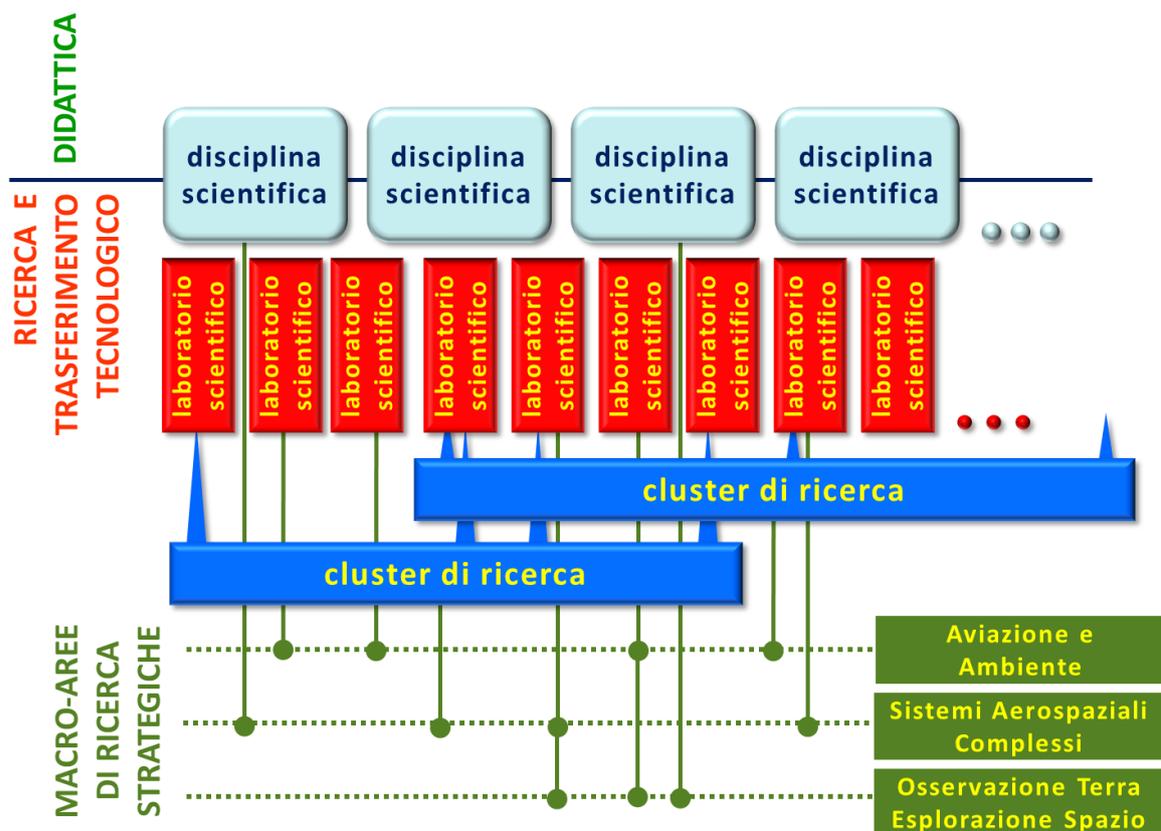
3. *Osservazione della Terra ed Esplorazione dello Spazio* – Obiettivo: progettare, realizzare e gestire sistemi autonomi, atmosferici ed extra-atmosferici, e le relative tecnologie.

Il DAST si impegna a rafforzare le proprie capacità per poter sempre essere nelle condizioni di affrontare le complesse sfide multidisciplinari che caratterizzano queste aree. In particolare, il Dipartimento è aperto ad accogliere le diverse competenze esterne utili a perseguire con efficacia questi obiettivi, ed eventualmente ad aprire e alimentare nuove linee di ricerca e di insegnamento.

L'impegno nella formazione (*Advancing Engineering Education*) mira a ridurre il divario tra le esigenze scientifiche da una parte e quelle ingegneristiche dall'altra, e a esporre gli studenti a una esperienza di apprendimento multidisciplinare. Il DAST si impegna a contribuire all'attività didattica, in collaborazione con la Scuola di Ingegneria Industriale, secondo i più alti standard e nel modo più efficace.

1.5 Organizzazione

L'organizzazione dell'attività scientifica del Dipartimento si articola su tre livelli: *discipline scientifiche*, *laboratori scientifici*, *cluster di ricerca*. Invece i *laboratori dipartimentali*, sia quelli fisici dove sono alloggiati le attrezzature sperimentali sia gli ambienti di sviluppo e manutenzione del software, sono organizzati indipendentemente dalle discipline e dai laboratori scientifici. Per quanto autonomi, essi sono coordinati per una gestione più efficiente delle risorse.



Discipline scientifiche

Le discipline scientifiche sono aree di competenza sviluppatesi e consolidate nel tempo, riconoscibili come scuole di studio e sviluppo di specifici filoni di materie caratterizzanti l'ambito dell'ingegneria aerospaziale. Esse ereditano la classificazione dei tradizionali settori scientifico-disciplinari ministeriali (SSD), aggiornata

però alle caratteristiche del mondo scientifico attuale, e rappresentano l'ambito culturale in cui ogni docente del Dipartimento si colloca. Le discipline scientifiche restano pressoché costanti nel tempo e alimentano da un lato la didattica e dall'altro la ricerca e il trasferimento tecnologico.

Laboratori scientifici

I laboratori scientifici sono i contesti in cui si svolge ricerca mirante al raggiungimento di obiettivi specifici dichiarati. Sono gli elementi principali visibili all'esterno, esposti alla competitività internazionale, e contribuiscono a una più chiara comunicazione della ricerca svolta.

Un laboratorio scientifico si presenta internamente e si espone esternamente attraverso un documento che viene aggiornato con frequenza annuale (*Laboratory Report 20XX*). Il report è articolato secondo uno schema che contiene un *background*, che rappresenta le motivazioni del laboratorio scientifico, e tre fasi temporali in successione: passato, presente e futuro. La prima fase (*past achievements*) espone i risultati precedentemente conseguiti; questa fase è condizione necessaria per promuovere un'attività di ricerca a laboratorio scientifico. La seconda fase (*ongoing activities*) espone le attività in essere, corredate dei dati necessari a una valutazione (successo in termini di prodotti scientifici e autofinanziamento, impiego dei laboratori, ecc.). La terza fase (*future plans*) espone i possibili sviluppi futuri e rappresenta la visione strategica del laboratorio scientifico; una terza fase che risulti poco credibile è indicatrice di un laboratorio scientifico in via di estinzione.

I laboratori scientifici permettono di valutare in modo immediato le potenzialità della ricerca di punta e di stabilire obiettivi dipartimentali di medio periodo in termini di risultati attesi. Essi sono inevitabilmente dinamici: evolvono nel tempo, si esauriscono e ne sorgono di nuovi. La vita dei laboratori scientifici può durare da pochi anni fino a diversi lustri.

Cluster di ricerca

I cluster di ricerca sono raggruppamenti o organizzazioni di attività di ricerca tipicamente multidisciplinare che coinvolgono più laboratori scientifici. Essi possono avere una funzione di servizio per i laboratori scientifici ai quali sono collegati, oppure possono rappresentare il denominatore comune delle attività svolte nei laboratori scientifici che vi fanno capo. Possono essere più o meno strutturati (e possono anche coinvolgere altri dipartimenti o università), e hanno comunque visibilità all'esterno.

I cluster di ricerca costituiscono lo strumento per riconoscere nell'organizzazione dell'attività scientifica del DAST – e quindi per esporre all'esterno – attività di ricerca multidisciplinari. La ricerca multidisciplinare è oggi requisito indispensabile per lo sviluppo delle scienze e delle tecnologie, soprattutto nei campi dell'ingegneria più di frontiera, come quello aerospaziale. Il DAST eredita dal precedente dipartimento DIA una forte vocazione per la ricerca multidisciplinare, e l'istituzione dei cluster di ricerca ne faciliterà lo sviluppo.

2. Competenze, linee e reti di ricerca e trasferimento tecnologico

A configurare il piano quadriennale dell'attività scientifica del nuovo Dipartimento concorrono da un lato le *competenze* presenti al DAST e dall'altro le *linee di ricerca* prefigurate. Queste ultime sono delineate nel piano strategico dipartimentale per la ricerca, riportato nell'Allegato 1 – Progetto Culturale (Sezione II). Come anticipato al punto 1.4, il piano strategico si basa su tre macro-aree, che rappresentano importanti opportunità per il settore aerospaziale e per il progresso dell'intera società:

1. Aviazione e Ambiente
2. Sistemi Aerospaziali Complessi
3. Osservazione della Terra ed Esplorazione dello Spazio

Ciascuna area si sviluppa in una pluralità di linee di ricerca, che sintetizzano le problematiche emergenti più significative. Questa impostazione del piano strategico promuove una organizzazione flessibile capace di integrare risorse diverse. L'attività di ricerca in questi settori consente di stabilire cooperazioni significative con centri di ricerca, università e realtà industriali in tutto il mondo, e contribuisce ad accrescere la competitività e il contenuto di innovazione della ricerca al DAST.

Accanto all'impegno scientifico nell'ambito del progetto strategico di ricerca, il Dipartimento continuerà a coprire i tradizionali settori dell'ingegneria dedicati al progetto e alla costruzione dei veicoli aerospaziali e dei relativi sistemi. Nel contempo intende rivolgersi anche a settori che stanno acquistando sempre più rilevanza, come quelli concernenti l'impiego dei mezzi volanti (ad es. manutenzione, traffico aereo, operatività aeroportuale, protezione ambientale, gestione dei dati satellitari, esplorazione dello spazio) e quelli costituiti attraverso un'operazione di trasferimento tecnologico di competenze possedute, come le turbine eoliche per lo sfruttamento del vento quale sorgente di energia e lo studio sistematico di strutture e di dispositivi *crashworthy* per la sicurezza del trasporto, non solo aereo.

2.1 Competenze

Le competenze presenti nel Dipartimento sono organizzate come descritto nella Sezione 1.5.

Discipline scientifiche

Il primo livello è costituito dalle *discipline scientifiche*. Nel DAST si riconosce l'esistenza delle seguenti sei discipline.

1. *Fluid Dynamics and Aerodynamics*. – Questa disciplina comprende i diversi aspetti della meccanica dei fluidi, relativi sia alla ricerca di base che applicata, condotta con approcci e metodologie sia numerici che sperimentali. Le specifiche competenze presenti in Dipartimento riguardano lo studio delle correnti turbolente, della gasdinamica dei gas rarefatti, delle correnti bi-fase in prossimità della saturazione liquido-vapore, dell'aerodinamica delle macchine ad ala rotante. Accanto a importanti capacità di sperimentazione, applicate anche a prove in grande scala nella galleria del vento di Ateneo, sono presenti comprovate capacità di sviluppo di metodi e algoritmi di fluidodinamica computazionale.
2. *Flight Dynamics and Control*. – Questa disciplina aggrega le attività nei settori della meccanica del volo dei velivoli ad ala fissa e rotante, e del loro controllo nella banda di scale che va dall'aero-servo-elasticità alla navigazione del velivolo. Le competenze spaziano dalla modellazione multi-disciplinare dei velivoli, alle tecniche di identificazione e di riduzione di modello, alle sintesi di leggi di controllo, al volo autonomo e alle tecnologie di supporto che lo rendono possibile. Le attività di sviluppo metodologico e numeriche sono affiancate da attività sperimentali.

3. *Structural Dynamics and Aeroservoelasticity*. – Questa disciplina include i diversi aspetti che investono lo studio della dinamica delle strutture e il loro controllo, dalle basse alle alte frequenze che sfociano nella vibro acustica, fino a estendersi alla problematica più ampia dell'interazione fluido-struttura. Si tratta di una disciplina che assume un valore strategico nello studio dei nuovi velivoli, caratterizzati da una notevole flessibilità strutturale dovuta all'utilizzo di strutture e materiali innovativi che consentono un notevole risparmio in peso. Tuttavia, le applicazioni non si limitano al settore aerospaziale ma si estendono a tutte quelle problematiche dell'ingegneria, ma non solo, che comportano lo studio dell'interazione e il controllo delle interazioni tra una struttura deformabile e un fluido che interagisce con essa.
4. *Aerospace Structures and Systems*. – Questa disciplina, per alcuni versi storica per il Dipartimento, include tutti gli aspetti che concernono la progettazione, la modellazione numerica e la verifica sperimentale del comportamento delle strutture aerospaziali. In essa vengono affrontate le metodologie progettuali più avanzate, quali l'ottimizzazione multidisciplinare, così come i regimi di utilizzo strutturale più estremi, quali quelli tipici delle condizioni di instabilità o di crash. Sono inclusi inoltre gli aspetti riguardanti gli impianti principali, quali l'impianto carrello, che non solo consentono il corretto utilizzo del velivolo, ma ne determinano anche alcune tra le principali condizioni di carico.
5. *Aerospace Materials and Technologies*. – A partire dagli aspetti prettamente di base, come lo studio delle correlazioni tra struttura atomica/molecolare e proprietà dei materiali, per arrivare a quelli più ingegneristici e applicativi dei componenti funzionali di interesse aerospaziale e industriale in generale, questa disciplina ricomprende le ricerche focalizzate allo studio dei materiali innovativi, delle relative tecnologie di produzione e delle tecniche di analisi numerica e sperimentale ad essi collegate. I materiali e le strutture intelligenti, sensorizzate, attuate, adattative, autoriparative, a funzionalità variabile e molteplice, nonché le problematiche legate alle nano-tecnologie e alla nano-fabbricazione, ai MEMS e ai NEMS, costituiscono argomenti di primario interesse, come pure i sistemi avanzati di monitoraggio (SHM, HUMS), che possono implementare e contestualizzare i risultati degli studi più di base.
6. *Space Systems and Propulsion*. – Questa disciplina racchiude le competenze legate agli aspetti di progetto e analisi delle prestazioni di sistemi spaziali e alla propulsione aerospaziale. Tali competenze sono rilevanti per poter sviluppare in modo completo le attività connesse con il progetto, l'analisi e la verifica di una missione spaziale e di un propulsore aerospaziale. In tali ambiti sono evidenziate le competenze per specialisti di analisi di missione, progetto dei sottosistemi propulsivo ed energetico, controllo orbitale e di assetto, operazioni e comunicazioni con la stazione di Terra, integrazione di sistemi spaziali e operazioni post lancio. In virtù di queste competenze il Dipartimento si pone come riferimento naturale per l'erogazione di didattica nella Laurea Magistrale in *Space Engineering*.

Gruppi di ricerca

Il secondo livello è costituito dai *laboratori scientifici*, che sono i contesti in cui si svolge ricerca mirante al raggiungimento di obiettivi specifici dichiarati. I laboratori scientifici verranno varati contestualmente all'attivazione del DAST, in conformità alle regole che verranno stabilite nella fase costituente del nuovo Dipartimento. I laboratori inglobano molte delle attività già presenti oggi nella comunità scientifica che condivide questo progetto, e che attualmente sono svolte nei seguenti *gruppi di ricerca*.

- *Flow Control*. – Il gruppo di ricerca *Flow Control* si colloca all'intersezione fra diverse discipline, quali la meccanica dei fluidi, la teoria del controllo e la matematica delle equazioni di Navier-Stokes. Si rivolge allo studio e all'applicazione delle tecniche di controllo delle correnti fluide, che hanno assunto una grande importanza nel progetto di aerei, veicoli terrestri e generatori di energia per un ambiente più sicuro e più ecologico. In passato il gruppo si è occupato di tecniche passive di riduzione della resistenza turbolenta tramite *riblets*. Recentemente ha assunto la leadership

internazionale in una ricerca rivolta a comprendere il principio fisico di funzionamento della tecnica a parete oscillante in direzione trasversale al moto, che rappresenta una tecnica attiva capace di una significativa diminuzione della resistenza aerodinamica con un risparmio netto di energia. Ancora più recentemente il gruppo ha scoperto e descritto con simulazioni numeriche ed esperimenti quella che è oggi considerata una delle tecniche *open-loop* più promettenti, che promette di migliorare le prestazioni energetiche di un ordine di grandezza.

- *Rotorcraft Aerodynamics*. – L'aerodinamica dei velivoli ad ala rotante è caratterizzata da fenomeni non stazionari, fortemente non lineari e tridimensionali, quali regioni di flusso transonico all'estremità delle pale del rotore, separazioni della corrente indotte da onde d'urto, stallo dinamico. Inoltre, le pale del rotore generano scie vorticosse complesse che interagiscono con l'intero velivolo. Il gruppo di ricerca *Rotorcraft Aerodynamics* si propone di approfondire lo studio e arrivare alla previsione accurata di questi fenomeni, necessaria per migliorare il progetto e la valutazione delle prestazioni e delle emissioni acustiche. La ricerca è condotta mediante studi sperimentali dedicati, condotti nella grande galleria del vento di Ateneo e nella galleria dipartimentale, e mediante simulazioni numeriche che utilizzano i codici CFD di nuova generazione, continuamente sviluppati all'interno del laboratorio stesso e specificamente orientati all'aerodinamica dell'ala rotante. In particolare, nella galleria di Ateneo, sono previste attività di prova di modelli di rotore che implementano i più moderni concetti di controllo (con particolare riguardo alla riduzione delle vibrazioni e della rumorosità) e prove atte a sviluppare l'aerodinamica delle fusoliere al fine di ridurre la resistenza (e quindi i consumi).
- *Physical Fluid Dynamics*. – Le attività di ricerca del gruppo *Physical Fluid Dynamics* sono rivolte alla comprensione delle caratteristiche fondamentali delle correnti fluide che operano in condizioni fortemente non ideali, comprendendo il flusso di gas rarefatti, i flussi multi-fase e di interfaccia tra fasi diverse, e la fluidodinamica dei vapori in condizioni prossime alla curva di saturazione e al punto critico. Le ricerche sono condotte utilizzando un approccio che include aspetti teorici, sperimentali e numerici, e consentono di affrontare problematiche applicative nel campo dell'aero-termodinamica dei velivoli di rientro, del progetto dei sistemi a vuoto, del comportamento energetico e fluidodinamico di micro- e nano-dispositivi.
- *Wind Power Engineering*. – Il gruppo *Wind Power Engineering* è impegnato nella ricerca, consulenza e formazione in campo eolico. Le aree di competenza e attività del laboratorio interessano i campi della modellistica e simulazione di aerogeneratori, della progettazione multi-disciplinare, dell'analisi aero-servo-elastica e del controllo. Le attività numeriche sono integrate da quelle sperimentali, condotte nella grande galleria del vento di Ateneo, con modelli in scala aeroelastica e controllati attivamente, che permettono un'ampia gamma di prove in supporto alla validazione dei modelli di simulazione e dei metodi sviluppati.
- *Dynamics and Control of Rotorcraft*. – Le attività di ricerca del gruppo *Dynamics and Control of Rotorcraft* si occupano dello studio della meccanica del volo dell'elicottero su un ampio spettro di scale e per un'ampia gamma di applicazioni, dalla navigazione al controllo delle caratteristiche aeroelastiche del velivolo. Particolare enfasi è posta sulle condizioni di volo manovrato agli estremi dell'inviluppo di volo, con applicazione alle condizioni di emergenza, al supporto alla certificazione, alla determinazione delle *handling qualities* e al progetto preliminare. Le attività modellistiche e di simulazione sono supportate da attività sperimentali condotte con modelli di elicotteri autonomi e strumentati.
- *Structural Noise and Vibrations* – Lo studio e la riduzione delle vibrazioni e dell'emissione acustica di componenti strutturali è continuo oggetto di interesse da parte della comunità scientifica e tecnologica, con particolare riguardo al miglioramento del livello di comfort e al contenimento dei

pesi e dei consumi dei mezzi di trasporto. Il gruppo di ricerca *Structural Noise and Vibrations* si propone di approfondire lo studio e la conoscenza dei fenomeni vibro-acustici ai fini di migliorare le capacità di modellazione, previsione e progetto e di proporre efficaci strategie di intervento integrate attive/passive per l'abbattimento del livello acustico/vibrotorio, con particolare attenzione per le medio-alte frequenze, caratteristiche del settore elicotteristico. La ricerca è condotta mediante simulazioni numeriche e campagne sperimentali, con specifico riferimento allo studio delle caratteristiche vibratorie e dissipative di pannelli compositi multistrato, alla modellazione e progettazione di strutture intelligenti equipaggiate con dispositivi di controllo attivo e all'analisi dell'accoppiamento acustico-strutturale

- *Computational Aeroservoelasticity*. – Le attività di ricerca di questo gruppo sono mirate allo studio dell'aero-servo-elasticità utilizzando per la parte fluido gli strumenti derivanti dalla fluidodinamica computazionale. Mentre infatti il passato ha visto quali strumenti principali i metodi linearizzati per il calcolo delle forze aerodinamiche generalizzate, questo approccio costituisce una limitazione non più accettabile per i moderni velivoli quando i regimi di volo diventano decisamente transonici e la presenza di fenomeni non lineari quali interazione tra onde d'urto e strato limite diventa dominante. La sfida è quella di aggiungere accuratezza alla simulazione pur mantenendo un costo di calcolo globalmente accettabile.
- *Adaptive Optics for Telescope Applications*. – Questo gruppo di ricerca si occupa delle problematiche inerenti alla progettazione, simulazione e realizzazione di ottiche adattive per grandi telescopi. L'attività di ricerca finora svolta pone il gruppo all'avanguardia nella modellazione della dinamica di specchi adattivi, e nello sviluppo di tecniche di controllo per questo tipo di applicazioni. La modellazione di questi problemi richiede un approccio multidisciplinare: il modello deve simulare al tempo stesso la dinamica strutturale, le forze fluidodinamiche generate dal movimento dello specchio, nonché l'intera catena di acquisizione, attuazione e controllo. Gli specchi adattivi massivamente attuati devono consentire un posizionamento estremamente preciso (con errori di pochi nanometri) di tutti i punti attuati dello specchio, a una frequenza che può raggiungere i 2 kHz. Il gruppo di ricerca si pone all'avanguardia nello sviluppo di leggi di controllo avanzate per applicazioni con migliaia di punti di controllo.
- *Aircraft Structural Sizing and Optimization*. – Le strutture aerospaziali, data la necessità imprescindibile di risparmiare massa per aumentare il carico pagante, si caratterizzano da tempo come le più avanzate in termini di efficienza strutturale, cioè rapporto tra prestazione e massa strutturale utilizzata. Per questa ragione si sono rivelate come il primo e forse il più importante banco di prova delle metodologie di ottimizzazione strutturale multidisciplinare capaci di ottenere la soluzione a minimo peso soddisfacente un complesso insieme di vincoli imposti. Uno dei problemi che tuttavia rimane aperto è quello della generazione in modo efficiente e possibilmente automatico di una prima configurazione strutturale, a livello di progetto concettuale, che sia già sufficientemente rappresentativa, e consenta una stima più efficiente e meno empirica della massa strutturale dei velivoli sin dal primo momento. L'attività di questo gruppo di ricerca si pone questo come obiettivo primario.
- *Multidisciplinary Approach for Aircraft Design*. – Questo gruppo di ricerca si occupa di sviluppare e applicare metodologie innovative genuinamente multidisciplinari per la progettazione preliminare e concettuale di velivoli ad ala fissa e ad ala rotante. Il lavoro del gruppo si concentra sulla definizione di approcci trasversali alle diverse discipline tradizionali della dinamica delle strutture, della aerodinamica e del controllo, per arrivare alla ridefinizione di problemi classici all'esterno degli usuali limiti, in modo da consentire la individuazione di soluzioni radicalmente innovative. Al contempo, vengono sviluppate metodologie numeriche che permettano di fare da ponte in maniera consistente fra i modelli numerici tradizionalmente utilizzati in ciascun ambito mono-disciplinare.

- *Flight Testing Instrumentation and Procedures.* – Il gruppo di ricerca è attivo nella progettazione, nell'implementazione e nel miglioramento continuo di sistemi innovativi a basso costo di strumentazione per prove di volo dedicate a velivoli leggeri e ultraleggeri, nonché nel supporto alla pianificazione dalle attività di prova, alla loro esecuzione e all'analisi dei dati acquisiti. Oltre a fornire strumenti e supporto per attività di didattica avanzata, il gruppo mira a facilitare l'accesso da parte delle società operanti nel settore dell'aviazione sportiva e leggera a sistemi e procedure per la sperimentazione in volo flessibili, affidabili, sostenibili e sicure. In quest'ottica, il gruppo ha attivato collaborazioni con diverse aziende del settore e ha contribuito in modo sostanziale alla certificazione di tipo di un velivolo italiano secondo la normativa tedesca LTF-UL nel 2011.
- *Buckling and Post-Buckling of Composite Structures.* – La realizzazione di strutture sempre più efficienti ha come controparte l'adozione di elementi altamente flessibili (tipicamente pannelli sottili) e quindi naturalmente esposti ai fenomeni di instabilità strutturale. Questi fenomeni, se da un lato conosciuti da tempo e dominati nella fase di progetto, sono tornati di grande attualità con l'avvento dei materiali compositi: sono infatti fortemente dipendenti dalle imperfezioni locali le quali sono praticamente inevitabili in manufatti in composito. L'insorgere di instabilità diventa inoltre di importanza primaria proprio per le problematiche di danneggiamento, di per sé già così complesse nel caso dei compositi. Questo gruppo di ricerca da anni detiene una posizione di leadership su queste problematiche e svolge ricerche supportate da enti e aziende nazionali e internazionali.
- *Computational Mechanics of Structured Solids.* – Con lo sviluppo del computer, i grandi progressi analitici che hanno caratterizzato l'attività scientifica nel campo della meccanica dei solidi nella prima metà del XX secolo sono stati sostituiti da una ricerca sempre più accurata di metodi numerici per la soluzione di problemi per lo più impostati secondo le teorie tradizionali, spesso accettando come scontato il ricorso a *numerical tricks* divenuti ormai standard (ad esempio, l'integrazione ridotta negli elementi finiti). Appare oggi possibile un riesame degli approcci analitici per sgomberare il campo da ipotesi assunte come sacre sulla scia delle necessità imposte dalle tecniche manuali di un tempo, per sviluppare teorie più congruenti con le approssimazioni su cui sono basati gli approcci computazionali moderni, in particolare per i problemi di non-linearità geometrica. Il gruppo di ricerca si occupa di questi tipi di modellazione, che consentono di sviluppare elementi finiti di continui strutturati come *shell* e *beam* – fondamentali nelle strutture aerospaziali – dotati di comportamento intrinsecamente *locking-free*.
- *Crashworthiness.* – Le attività di ricerca di questo gruppo sono concentrate sullo studio della sicurezza passiva di velivoli ad ala fissa e ad ala rotante e fanno tesoro di una tradizione che, partendo dalla fine degli anni 60, ha permesso la creazione del primo laboratorio di crash universitario in Italia. Argomenti tipici sono, ad esempio, lo studio dei sottopavimenti di elicotteri o di velivoli, la sicurezza di cabina con l'interazione corpo umano-sedili-strutture, problematiche di *bird impact* e, per finire, impatti su acqua e studio della sicurezza dei serbatoi. Tutte le ricerche vengono svolte con un'intensa sinergia tra attività numerica e sperimentale utilizzando la notevole dotazione disponibile. Le ricerche vengono molto spesso condotte in stretta collaborazione con le maggiori realtà industriali e hanno permesso la messa a punto di diversi brevetti.
- *Smart Structures.* – Il gruppo *Smart Structures* ha acquisito un'esperienza pluriennale su materiali ospitanti sensori e attuatori, sviluppando tecniche di inglobamento e integrazione dei sensori e degli attuatori all'interno di elementi in composito e applicando tali tecniche al monitoraggio delle fasi produttive, alla rilevazione del comportamento in servizio di componenti strutturali (HUMS, *Health and Usage Monitoring Systems*), e alla realizzazione di strutture topologicamente adattative (*morphing*). L'impiego di queste tecniche ha consentito lo sviluppo e la validazione di originali strategie di modellazione numerica, in grado ad esempio di prevedere la nucleazione e la propagazione del danno nelle strutture in composito e la simulazione delle variazioni di forma in

elementi inglobanti attuatori. Partendo dall'ambito aerospaziale, lo studio e l'implementazione delle strutture intelligenti e dei materiali multifunzionali che le costituiscono, possono essere estesi anche ad altre applicazioni industriali avanzate sfruttando le opportunità di *cross-fertilization* in diverse aree di ricerca di base e applicata.

- *Advanced Materials and Technologies.* – Questo gruppo di ricerca si rivolge allo studio di materiali compositi e materiali funzionali di rilevante interesse aerospaziale e industriale in genere. In questo ambito, le tematiche di studio sono condotte su diversi livelli: analisi delle relazioni tra microstruttura (atomica/molecolare) e comportamento funzionale dei materiali, anche con l'impiego di tecniche di indagine non convenzionali (ad esempio, spettroscopia di annichilazione di positroni); caratterizzazione di materiali e componenti, in particolare realizzati con compositi avanzati e biocompositi, mediante tecniche di prova distruttive e non; studio di tecnologie innovative, volte a contemperare esigenze prestazionali, convenienza economica e sostenibilità ambientale (VaRTM); messa a punto di tecniche di modellazione e di leggi costitutive per l'analisi non-lineare, di tolleranza al danno e a rottura di elementi in composito, applicate a sistemi compositi a matrice polimerica o ceramica e a laminati ibridi metallo/composito (FML); sviluppo e applicazione di materiali funzionali (polimeri autoriparanti, leghe a memoria di forma, ceramiche piezo-attive) finalizzati alla realizzazione delle *smart structures*.
- *Space Systems and Missions Design.* – Il gruppo di ricerca *Space Systems and Missions Design* (SSAMD) nasce circa vent'anni fa, quando alcuni ricercatori iniziano ad affrontare problemi legati al progetto di missioni spaziali, alla pianificazione delle operazioni di bordo, all'ottimizzazione di traiettorie e ai sistemi per l'esplorazione robotica di pianeti. Nel corso degli anni le ricerche sono state consolidate, sia dal punto di vista metodologico che rispetto alle ricadute industriali. Oggi il gruppo si propone di studiare e approfondire le tematiche legate al progetto preliminare di missioni spaziali, l'ottimizzazione e il controllo di traiettorie di trasferimento interplanetario, lo studio della dinamica di sistemi spaziali in modelli a 3 o più corpi, lo studio di sistemi per l'esplorazione robotica di pianeti e corpi celesti, lo studio di sottosistemi innovativi per applicazioni spaziali. Le ricerche sono condotte con l'ausilio di attrezzature sperimentali dedicate, per ricreare a terra le condizioni operative dei sistemi spaziali.
- *Space Propulsion Systems.* – Il gruppo di ricerca di *Space Propulsion Systems* svolge attività sperimentale e teorica sui sistemi propulsivi di accesso e navigazione nello spazio. Sono studiati in particolare endoreattori chimici a propellente solido e ibrido in grado di assicurare prestazioni più elevate, maggiore efficienza energetica, costi ridotti e minori emissioni inquinanti (dalla troposfera alla stratosfera). In collaborazione con vari partner internazionali, il gruppo è impegnato nella caratterizzazione e impiego di materiali energetici innovativi, spaziando dagli ossidanti inorganici ai riducenti metallici ai modificatori balistici, per la messa a punto di propellenti e combustibili solidi di nuova generazione. Il gruppo è inoltre coinvolto nella formulazione di nuovi ingredienti anche a scala nanometrica e nella manifattura di miscele duali ottimizzate per specifiche missioni propulsive. Particolare attenzione è dedicata allo sviluppo di endoreattori ibridi nel quadro di future missioni su Marte e di missioni volte alla rimozione di detriti spaziali dalle orbite di maggiore interesse commerciale.

Cluster

Il terzo livello è costituito dai *cluster di ricerca*. Una volta istituiti i laboratori scientifici, verranno formalizzati i cluster di ricerca, di alcuni dei quali già oggi si intravede l'esistenza.

- *Integrated Design of Helicopters.* – Il cluster di ricerca sul progetto integrato di velivoli ad ala rotante unisce diverse competenze che ricoprono vari campi, tra cui aerodinamica e aero-acustica, aero-

servo-elasticità, dinamica del volo, dinamica delle strutture e sicurezza passiva, tutti essenziali per una corretta definizione delle caratteristiche dei velivoli e per lo sviluppo di soluzioni volte a migliorarne le prestazioni e la sicurezza d'impiego. Nei vari ambiti si distingue per una combinazione di competenze complementari sperimentali e numeriche. Il cluster si pone l'obiettivo di diventare un punto di riferimento nazionale e internazionale nella ricerca relativa all'ala rotante, a supporto dell'industria nazionale ed europea, e di fornire importanti ricadute sulla didattica avanzata. Grazie a collaborazioni dirette e alla partecipazione passata e presente a numerosi progetti nazionali ed europei legati al tema elicotteristico (ADYN, FRIENDCOPTER, GOAHEAD, NICETRIP, ARISTOTEL,), le attività riconducibili al cluster sono ben inserite nella ricerca nazionale ed europea.

- *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. – Questo cluster raccoglie e mette in comune le competenze e le attività di sviluppo di metodi numerici per la soluzione delle equazioni alle derivate parziali che si incontrano nell'ambito della dinamica di fluidi. Queste attività costituiscono il supporto a molte delle ricerche condotte nei laboratori scientifici collegati alla disciplina *Fluid Dynamics and Aerodynamics*. Dai metodi spettrali per correnti viscosse a bassa velocità fino ai metodi Monte Carlo per le correnti di gas rarefatti, alle metodologie di generazione delle griglie di discretizzazione e alle tecniche di parallelizzazione per HPC, lo sviluppo del software realizzato nel cluster fornisce un background e un supporto indispensabile a numerose linee di ricerca condotte dal Dipartimento. All'interno del cluster rientrano inoltre quelle attività di valutazione e sviluppo di moderni modelli e strumenti CFD, prevalentemente open-source, che permettono di affrontare problemi di interesse industriale.
- *Landing Gear*. – Questo cluster unisce e integra le competenze multidisciplinari maturate durante gli ultimi anni nell'ambito della progettazione, simulazione e verifica sperimentale dei carrelli aeronautici. Esso integra competenze quali: modellazione del comportamento di carrelli, pneumatici, freni; modellazione e sperimentazione di sistemi di controllo attivo dell'assorbimento di energia all'atterraggio; modellazione della dinamica del rullaggio e della frenata in presenza di instabilità e/o interazioni con elasticità strutturale e cedevolezza degli attacchi; modellazione dell'accoppiamento ferodo-disco e previsione della produzione di rumore, sperimentazione di sistemi di atterraggio e di condotta di rullaggio. Di particolare rilevanza sono le attrezzature sperimentali disponibili per la sperimentazione al vero installate presso il laboratorio per la sicurezza dei trasporti.

2.2 Linee di ricerca

Le linee di ricerca costituiscono il filo conduttore tra le competenze disciplinari e la ricerca svolta nei laboratori e nei cluster da una parte, e gli obiettivi strategici di ricerca dall'altra. Questi, già delineati nel progetto culturale (vedi Allegato 1 – Progetto Culturale, Sezione II), sono sintetizzati in tre aree strategiche e brevemente illustrati qui di seguito.

Area Strategica 1: Aviazione e Ambiente

Obiettivi – Massimizzare l'efficienza e ridurre l'impatto ambientale dell'aviazione; trasferire tecnologie di punta ad altri settori industriali, come quelli dei mezzi di trasporto in generale e delle energie rinnovabili in particolare.

Si tratta di obiettivi di grande portata il cui raggiungimento presenta ricadute che si estendono ben oltre il settore aerospaziale.

Il percorso individuato per il raggiungimento di tali obiettivi è articolato secondo alcune linee di ricerca specifiche qui di seguito sintetizzate.

Le strutture dei nuovi velivoli. – La massimizzazione dell'efficienza strutturale e la riduzione del peso hanno un impatto diretto e immediato sulle prestazioni dei velivoli, sulla riduzione dei consumi e sulla sostenibilità

ambientale. Le configurazioni dei nuovi velivoli, previsti per la seconda metà del secolo, richiedono quindi concezioni strutturali innovative in grado di soddisfare più gravose distribuzioni dei carichi soddisfacendo al tempo stesso requisiti di leggerezza, di sicurezza, di riduzione dei costi e di resistenza all'ambiente operativo. L'attività di ricerca verte su diverse linee di sviluppo focalizzate su due aspetti in particolare: da un lato le strutture innovative e dall'altro i materiali utilizzati, quali quelli multifunzionali e intelligenti. Dalle soluzioni integrate che consentono di introdurre elementi capaci di modificare geometria e proprietà del velivolo al fine di migliorarne le prestazioni (*morphing*), ai sistemi di monitoraggio dello stato del componente dalla sua produzione e fino al termine della sua vita operativa (*cradle-to-grave*). Specifiche attività di ricerca riguardano materiali compositi avanzati con fibre ad alta resistenza, materiali compositi ibridi quali i laminati in composito/metallo, materiali compositi speciali a matrice ceramica, materiali auto-riparanti e in grado di trasmettere segnali, bio-compositi, materiali riciclabili e biocompatibili, nonché tecniche avanzate di modellazione numerica e di caratterizzazione sperimentale. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Aircraft Structural Sizing and Optimization*, *Multidisciplinary approach for aircraft design*, *Buckling and Post-Buckling of Composite Structures*, *Crashworthiness*, *Smart Structures* e *Advanced Materials and Technologies*.

Le tecnologie avanzate per la riduzione della resistenza aerodinamica. – La resistenza aerodinamica dei velivoli commerciali di prossima generazione è prevalentemente dovuta alla resistenza di attrito, che si prevede di abbattere in maniera significativa grazie a sistemi di controllo attivi e passivi. Il controllo del flusso, in regime turbolento, si avvale di apporti essenziali provenienti dalla teoria del controllo ottimo, dalla comprensione fisica della turbolenza di parete, dalla fluidodinamica, da modelli matematici basati sulle equazioni di Navier-Stokes e dai relativi metodi numerici di soluzione. La continua ricerca di strategie di controllo innovative e la loro verifica in esperimenti di laboratorio è caratterizzata da una forte attenzione alla praticabilità delle soluzioni individuate. Lo studio non può quindi prescindere da considerazioni globali di efficienza energetica; è inoltre richiesto lo sviluppo di adatti attuatori e micro-attuatori (dai rivestimenti intelligenti ai getti sintetici, dagli attuatori al plasma ai muscoli artificiali). Questa linea di ricerca verrà perseguita dal gruppo *Flow Control*.

La riduzione del rumore irradiato. – La costante crescita del traffico aereo, contestuale alla crescita degli insediamenti urbani attorno agli aeroporti, impone una significativa riduzione del rumore al suolo. L'ottimizzazione delle traiettorie di volo in atterraggio assume pertanto un ruolo essenziale nella riduzione del rumore aero-acustico in prossimità degli aeroporti, ma strumenti di progetto e di analisi più avanzati rimandano a traiettorie 3-D basate su strumenti di navigazione satellitari e sulle tecnologie correlate. I risultati di ricerche in questo settore, unitamente a configurazioni alari di tipo *comformable* in grado di evitare le sorgenti di rumore indotte dalle superfici mobili, consentiranno una significativa ottimizzazione dei percorsi di volo in decollo e in atterraggio sotto i vincoli di specifiche restrizioni ambientali tra le quali il rumore al suolo, il consumo di combustibile, le emissioni inquinanti. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Dynamics and Control of Rotorcraft* e *Rotorcraft Aerodynamics*.

L'energia eolica. – Il settore dell'energia eolica è forse il primo (ma non l'unico) in cui il trasferimento di conoscenze, metodologie ed esperienze dal mondo aerospaziale risulta particolarmente evidente. L'obiettivo dichiarato dall'industria dell'energia eolica è di offrire il 20% dell'energia elettrica consumata in Europa entro il 2020. Questo obiettivo potrà essere raggiunto incrementando la dimensione delle turbine oggi in uso, che si attesta nella fascia dei 10-20 MW, e/o la dimensione delle industrie produttrici, studiando anche le risorse off-shore. Significativi sviluppi sono quindi richiesti nel progetto di pale avanzate, nella riduzione con tecniche attive e passive di carichi estremi e di fatica e nell'integrazione di sofisticati sensori con leggi di controllo avanzate. Queste attività possono essere condotte con strumenti di predizione numerica in grado di modellare i più significativi processi fisici a un alto livello di confidenza. Allo stesso tempo si richiede una specifica attività sperimentale utile alla calibrazione e alla convalida dei

modelli matematici e degli algoritmi numerici correlati. Questa linea di ricerca verrà perseguita dal gruppo *Wind Power Engineering*.

I velivoli della futura generazione. – L'aviazione commerciale per trasporto passeggeri è previsto che evolva anche verso velivoli ipersonici, in grado di abbreviare significativamente i tempi di volo sulle lunghe distanze. Le sfide tecnologiche che sottendono al raggiungimento di questo obiettivo coinvolgono problemi di aerodinamica ipersonica, di controllo, di natura strutturale, di materiali avanzati e di sistemi propulsivi in grado di portare a piena maturità soluzioni di tipo *scram-jet*, oggi disponibili solo in configurazioni sperimentali. L'attività di ricerca si apre a uno scenario intrinsecamente multidisciplinare, fortemente integrato, coinvolgente molte delle discipline scientifiche, aperto a una forte interazione con competenze sviluppate in altri dipartimenti del Politecnico e a una pluralità di competenze disponibili in un orizzonte internazionale. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Space Propulsion Systems* e *Physical Fluid Dynamics*.

Area Strategica 2: Sistemi Aerospaziali Complessi

Obiettivi – Sviluppare tecniche multidisciplinari per la modellazione, simulazione e controllo di sistemi aerospaziali complessi.

La necessità di affrontare e gestire sistemi complessi, tipica del settore aerospaziale, rappresenta oggi un'esigenza imprescindibile in molti dei settori della società con un grande impatto sulla vita di tutti i giorni: dalla gestione dell'informazione, dei sistemi di trasporto, della produzione e distribuzione dell'energia, fino al mondo finanziario.

Il percorso individuato per il raggiungimento di tali obiettivi è articolato secondo alcune linee di ricerca specifiche qui di seguito sintetizzate.

La modellazione fluido-strutturale integrata. – Il contenimento del peso delle strutture dei moderni velivoli, indotta dalla necessità di contenere i costi operativi, porta inevitabilmente all'insorgenza di significativi fenomeni aeroelastici. Il progetto dei velivoli futuri poggerà su una modellistica integrata della meccanica dei fluidi e dei solidi. L'attività di ricerca in questo campo porta a indagare, sia sperimentalmente che numericamente, concezioni innovative di controllo aero-servo-elastico e consente nuovi approcci per progetti innovativi, in grado di verificare la stabilità dinamica e di esaltare le qualità di controllo del velivolo e la sua efficienza globale. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Computational Aeroelastocity*, *Multidisciplinary Approach for Aircraft Design*, *Rotorcraft Aerodynamics* e *Adaptive Optics for Telescope Applications*.

I modelli multi scala e i modelli di ordine ridotto. – La capacità di affrontare l'analisi e il progetto di sistemi aerospaziali complessi richiede sempre più spesso la capacità di modellare fenomeni mediante modelli multi scala, dal nano al meso al macro livello. Ogni modello possiede il grado di fedeltà necessario per cogliere i fenomeni principali che gli competono. Questo approccio ha due conseguenze fondamentali. Da un lato la capacità di modellare e analizzare fenomeni multidisciplinari diventa un requisito indispensabile. Dall'altro, la dimensione del modello multidisciplinare può crescere in modo eccessivo data la presenza di modelli disciplinari a molteplice scala. Per ovviare a questa problematica una strada percorribile è quella di sviluppare modelli ridotti che siano più leggeri dal punto di vista computazionale, ma nel contempo siano comunque in grado di cogliere gli aspetti fondamentali del fenomeno in oggetto. Questa linea di ricerca verrà perseguita dal gruppo *Aircraft Structural Sizing and Optimization*.

La simulazione e la sperimentazione di fenomeni altamente non lineari. – Questa attività concerne la capacità di trattare importanti comportamenti di sistemi aerospaziali. Applicazioni specifiche nelle quali i fenomeni non lineari assumono un interesse rilevante riguardano la separazione della corrente, l'interazione fluido-struttura, la dinamica di impatto nel progetto del *crashworthy*, le instabilità e il relativo

controllo di fluido e struttura, la modellistica del comportamento anelastico di materiali compositi, la modellistica e la sperimentazione di strutture sottili soggette a instabilità statica e dinamica, la modellistica dell'interazione tra condizioni di *post-buckling* e propagazione del danno nei compositi. Data la complessità dei fenomeni considerati, risulta indispensabile un'intensa attività sperimentale per la validazione dei modelli di simulazione. Questa linea di ricerca verrà perseguita da diversi gruppi: *Physical Fluid Dynamics, Computational Aeroservoelasticity, Buckling and Post-Buckling of Composite Structures, Computational Mechanics of Structured Solids, Crashworthiness, Advanced Materials and Technologies*.

La sicurezza e il comfort. – Sicurezza e comfort nelle diverse fasi del volo, in particolare per elicotteri e velivoli di ridotte dimensioni, sono stati affrontati con tecnologie di controllo attivo e passivo, senza tuttavia pervenire a piena maturità e a una estensiva applicazione sui velivoli di serie. L'attività di ricerca concerne pertanto lo sviluppo di sistemi di controllo attivo affidabili ed efficaci, contestualmente al progetto di sistemi di controllo passivo intelligenti. Questa attività richiede l'integrazione di competenze multidisciplinari, coinvolgenti in particolare i settori della matematica, del calcolo strutturale, del controllo e della fisiologia. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Crashworthiness* e *Structural Noise and Vibrations*.

I componenti e le strutture multifunzionali. – Questa attività può fornire un decisivo supporto per il successo di strutture in materiale composito, in virtù della loro proprietà di integrare caratteristiche diverse, trasformandosi in materiali di interesse ingegneristico e divenendo sistemi multifunzionali. Questi sistemi possono rappresentare la modalità naturale di implementare concezioni strutturali avanzate come la *Health Structural Monitoring (HMS)* e il *morphing* strutturale, grazie all'integrazione di sensori, quali fibre ottiche e attuatori, leghe a memoria di forma e componenti piezoelettrici. La modellistica di questi sistemi non lineari integrati richiede approcci multidisciplinari e, in alcuni casi, multi-scala. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Smart Structures* e *Advanced Materials and Technologies*.

Le metodologie multidisciplinari di analisi, progetto e ottimizzazione. – L'ottimizzazione multidisciplinare (MDO) sviluppa benefici sinergici integrando strumenti analitici, risultati e tecniche sperimentali e informazioni diverse per il progetto di componenti e sistemi complessi. Le metodologie MDO hanno una intrinseca capacità di astrazione e possono così essere applicate a molte diverse discipline, combinando diversi tipi di modelli a diversi livelli di affidabilità. In particolare, uno dei principali sviluppi per il miglioramento di queste tecniche deve essere orientato all'introduzione degli effetti di incertezza nel processo progettuale, così come ad accrescere il livello di dettaglio nella rappresentazione della struttura. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Aircraft Structural Sizing and Optimization* e *Multidisciplinary Approach for Aircraft Design*.

Gli elicotteri e le configurazioni avanzate di velivoli ad ala rotante. – Gli elicotteri e i velivoli multi-rotore sono esempi paradigmatici di sistemi complessi che coinvolgono aspetti multidisciplinari. L'aeromeccanica dei velivoli ad ala rotante rappresenta un campo di ricerca aperto che coinvolge tecniche proprie di molti campi dell'ingegneria: aerodinamica, dinamica strutturale e aero-servo-elasticità, controlli di volo e, più in generale, la dinamica di tutti i sistemi che possono interagire con l'operatività del velivolo. L'attività di ricerca in questo settore riguarda concezioni progettuali innovative per prestazioni migliori rispetto alle attuali, riduzione del rumore interno ed esterno, controllo delle prestazioni, sviluppo di nuove soluzioni strutturali e nuovi materiali. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Dynamics and Control of Rotorcraft, Computational Aeroservoelasticity, Multidisciplinary Approach for Aircraft Design, Advanced Materials and Technologies* e *Rotorcraft Aerodynamics*, coordinati nel cluster *Integrated Design of Helicopters*.

Area Strategica 3: Osservazione della Terra ed Esplorazione dello Spazio

Obiettivi – Progettare, realizzare e gestire sistemi autonomi, atmosferici ed extra-atmosferici, e le relative tecnologie.

Le due tematiche costituenti questa area strategica rappresentano due facce della stessa medaglia, basti pensare all'impatto sulla vita quotidiana dell'enorme flusso di dati provenienti dallo spazio, sia da quello atmosferico sia da quello extra atmosferico. E' generalmente riconosciuto che nel breve tempo la capacità di progettare, realizzare e gestire sistemi per l'osservazione terrestre, siano essi basati su sistemi velivolo autonomi o su sistemi satellitari, costituirà un'esigenza imprescindibile per lo sviluppo e la sicurezza di ogni società.

Il percorso individuato per il raggiungimento di tali obiettivi è articolato secondo alcune linee di ricerca specifiche qui di seguito sintetizzate.

Il progetto e il controllo di sistemi UAV in ambienti complessi. – I sistemi UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) sono sistemi autonomi il cui interesse è enormemente cresciuto negli ultimi anni. Una sfida per lo sviluppo di questi sistemi è di accrescere il loro livello di autonomia. Altri aspetti riguardano l'integrazione di sistemi autonomi con sistemi eterogenei più ampi, caratterizzati da un elevato numero di componenti. Un aspetto cruciale dell'attività di ricerca riguarda la determinazione del più efficace legame di controllo autonomo e di controllo da parte dell'uomo. Altri aspetti riguardano il progetto di micro UAV ad ala rotante, l'ottimizzazione dei percorsi di volo, il controllo della missione. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Dynamics and Control of Rotorcraft* e *Aircraft Structural Sizing and Optimization*.

I sistemi robotici per le applicazioni spaziali. – I futuri piani strategici delle Agenzie Spaziali Internazionali motivano fortemente lo sviluppo di progetti di ricerca in questo settore. Veicoli in ambienti ostili e sconosciuti devono essere in grado di interagire con l'ambiente stesso, percependo e quantificando le condizioni circostanti e reagendo a eventi non prevedibili in maniera pronta e sicura. Fondamentali aspetti che l'attività di ricerca deve affrontare riguardano le soluzioni tecnologiche per l'attuazione, il controllo e la gestione del veicolo, in termini di peso, prestazioni e riusabilità. Questa linea di ricerca verrà perseguita dal gruppo *Space Systems and Missions Design*.

Le missioni spaziali e il progetto delle traiettorie. – Il progetto e il controllo della traiettoria spesso gioca un ruolo fondamentale e richiede pertanto l'utilizzo di modelli multi-corpo in grado di tenere conto dell'accoppiamento di perturbazioni e dinamica dell'assetto. Le missioni spaziali previste per le prossime decenni richiederanno traiettorie e controllo d'assetto molto precisi per soddisfare le stringenti restrizioni imposte dal carico pagante e da nuove sofisticate tecnologie imbarcate. Il contenimento dei costi, la riduzione della massa totale e della richiesta di potenza disponibile, la sopravvivenza in un ambiente ostile costituiranno le sfide a cui dovrà rispondere la ricerca in questo specifico settore. Questa linea di ricerca verrà perseguita dal gruppo *Space Systems and Missions Design*.

L'impatto ambientale delle missioni spaziali. – Studi recenti prevedono nella prossima decade, per il solo mercato del turismo spaziale, circa mille voli all'anno. L'emissione di particolato carbonioso rilasciato ad alte quote nella stratosfera richiede lo studio dell'influenza delle emissioni dei lanciatori sui possibili futuri cambiamenti climatici. Innovativi sistemi propulsivi devono essere messi a punto, quali endoreattori di tipo ibrido che presentano interessanti prospettive di riduzione delle emissioni inquinanti unitamente a riduzione dei costi e incremento delle prestazioni, dei livelli di sicurezza e della semplicità impiantistica. La ricerca attualmente in corso, e che dovrà essere continuata per portare questo sistema propulsivo a piena maturità, verte sullo sviluppo di combustibili solidi innovativi, addizionati con polveri metalliche di scala nano-metrica, oppure con idruri metallici, per conseguire significativi incrementi della velocità di regressione del grano combustibile con conseguenti incrementi della spinta. Questa linea di ricerca verrà perseguita dal gruppo *Space Propulsion Systems*.

L'evitare lo space debris. – Le continue attività spaziali hanno portato a una significativa, indesiderata presenza di rifiuti spaziali lungo le orbite di maggiore interesse. L'aggiornamento dei dati ad Aprile 2011 ha portato all'individuazione di circa 22000 oggetti, la maggior parte dei quali con diametro superiore a 10 cm, potenzialmente responsabili di gravi danni nell'impatto con satelliti. L'attività di ricerca in questo particolare settore riguarda lo studio dell'evoluzione delle traiettorie dei detriti spaziali, l'analisi delle loro probabilità di impatto, lo studio di modalità e sistemi per la rimozione dei rifiuti attualmente presenti e orbitanti, rilasciati da lanciatori e satelliti non più operativi, nonché il progetto e lo sviluppo di sistemi attivi, imbarcati, per il *de-orbiting* del satellite a fine vita senza il rilascio di *debris*, per i quali è già attiva una collaborazione con alcune università russe. Questa linea di ricerca verrà perseguita dai gruppi *Space Propulsion Systems* e *Space Systems and Missions Design*.

2.3 *Le azioni, le risorse e le infrastrutture necessarie per perseguire gli obiettivi di ricerca*

La sezione precedente ha descritto in maniera generale, pur con gli ovvii requisiti di sinteticità richiesti da questo documento, la strategia di ricerca sulla quale si basa la fondazione del nuovo dipartimento DAST. Tuttavia il progetto scientifico di un nuovo dipartimento non può prescindere da una altrettanto cruciale analisi dei mezzi necessari per perseguire gli obiettivi dichiarati, così come da un'attenta valutazione delle criticità connesse.

Una prima osservazione riguarda l'importanza dello sforzo fatto nella presentazione del progetto culturale (Allegato 1 – Progetto Culturale), che qui è stato sintetizzato. In particolare, l'approfondita analisi della situazione del mondo aerospaziale e dell'attività dei più importanti dipartimenti aerospaziali nel mondo ha consentito di concentrare l'attività di ricerca dipartimentale su pochi, riconoscibili, obiettivi di alto livello. Oltre a questo, si sono poste le basi per una strutturazione dell'attività di ricerca nel nuovo dipartimento più consona all'ottenimento degli obiettivi dichiarati. Tale organizzazione ha due caratteristiche: da un lato è inclusiva, nel senso che dà a ciascuno la possibilità di cercare ma soprattutto di trovare la propria collocazione nel dipartimento; dall'altro è aperta e flessibile, pronta ad accogliere competenze che provengano dall'interno del Politecnico o da fuori, le quali possono essere incluse in modo armonico, garantendo al dipartimento quella multidisciplinarietà che caratterizza il mondo aerospaziale e contribuendo a fare del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali il principale riferimento su tematiche relative all'aeronautica e allo spazio, sia internamente al Politecnico sia esternamente. L'afferenza di docenti da altri dipartimenti, come evidenziano le firme a supporto del presente progetto, ne è testimonianza.

Per quanto concerne le risorse per attuare gli obiettivi di ricerca dichiarati, occorre distinguere tra due fronti, quello delle risorse finanziarie e quello delle risorse umane. E' scontato e finanche retorico sottolineare che una buona ricerca richiede risorse finanziarie adeguate. Ciò è ancor più vero nel caso di attività sperimentali che richiedono grandi investimenti in laboratori dedicati. Da questo punto di vista il Dipartimento che nasce ora, ma sulle fondamenta del precedente DIA, si è sempre distinto per grandi capacità di autofinanziamento, dalle attività conto terzi ai contratti di ricerca finanziati da enti nazionali, quali Regione o MIUR, da industrie italiane o estere, quali Alenia AerMacchi, AgustaWestland o ancora da Vestas, da enti internazionali, quali USAF, fino ai progetti di ricerca europei, dove ha ottenuto uno *score* rilevante con 29 progetti internazionali nei diversi programmi quadro (FP) negli ultimi 15 anni. Il passaggio dal vecchio DIA al nuovo DAST non lascia intravedere quindi criticità per quanto riguarda le risorse finanziarie e in particolare la capacità di autofinanziamento, che non può che migliorare dato l'ingresso di nuove competenze.

Per quanto concerne le risorse umane, la situazione appare più complessa, dato che esse non dipendono completamente e unicamente dalle capacità o dalla *performance* del dipartimento stesso, ma dipendono

fortemente da fattori esterni difficilmente controllabili e tantomeno prevedibili. Questo progetto è sottoscritto da 42 sostenitori, tra cui 12 professori ordinari, 12 professori associati e 18 ricercatori. Inoltre sono in preparazione i bandi per 4 Ricercatori TD (junior) di cui uno finanziato mediante punti organico ricevuti e altri tre autofinanziati dal Dipartimento stesso. Nel prossimo biennio è prevista l'acquisizione di altri 4 Ricercatori TD per raggiungere una soglia di 8, giudicata il minimo indispensabile per garantire in futuro un ragionevole ricambio generazionale e una buona qualità dei nuovi ricercatori. Questo porta a raggiungere oggi la quota di 46 persone di staff, e 50 nell'arco di un biennio, che consentono di superare agevolmente la soglia di 40 prevista dalla legge. Uno sguardo al prossimo quadriennio, arco temporale cui guarda questo progetto: sono previsti 4 pensionamenti di PO i quali, anche senza contare la possibilità di nuovi ingressi durante lo stesso periodo temporale, non fanno paventare la caduta al di sotto della soglia minima. Certamente la speranza del Dipartimento è quella di avere l'opportunità di acquisire nuovi ingressi, anche al di fuori del Politecnico e possibilmente anche dall'estero, in un'ottica di internazionalizzazione sempre più importante, ma è necessario evitare di confondere le speranze con le promesse quando non si ha il pieno controllo sui meccanismi di attribuzione delle risorse. Si vuole tuttavia ribadire una volta di più che tranne forse un caso, quello di Delft in Olanda, tutti i più importanti Dipartimenti di Ingegneria Aerospaziale del mondo hanno dimensioni al di sotto di 40 persone di staff. In conclusione, il passaggio dal vecchio DIA al nuovo DAST non lascia intravedere criticità a breve termine per quanto riguarda le risorse umane.

Un'ultima notazione riguarda un'altra tipologia di risorse, necessarie quanto se non più delle precedenti, che è quella degli spazi. Il problema degli spazi sta diventando sempre più critico per il DIA, e lo sarà ancora di più per il DAST, essendoci posti l'obiettivo di aumentare le dimensioni dipartimentali. Molto spesso la qualità della vita quotidiana dipartimentale si riflette direttamente sulla qualità della ricerca. La possibilità di costituire ad esempio Laboratori Scientifici con personale che possa lavorare in modo integrato, e poter superare una distribuzione delle persone quasi casuale ovunque sia disponibile un tavolo, diventa ora un'esigenza imprescindibile. Ci si augura che l'Amministrazione dell'Ateneo sia su questo aspetto sensibile e lungimirante, riconoscendo lo sforzo fatto dal Dipartimento nella sua riorganizzazione e ristrutturazione per l'adeguamento ai requisiti di dimensione minima richiesti, consentendo così di superare questa criticità.

2.4 *Posizionamento interno ed esterno*

Le tre motivazioni fondamentali anticipate precedentemente delineano il posizionamento del Dipartimento. La rilevanza del settore aerospaziale nel panorama internazionale richiede un interlocutore accademico chiaramente identificabile. La centenaria tradizione di ingegneria aerospaziale al Politecnico, unitamente al ruolo ad essa riconosciuto in questo settore, delinea con chiarezza tale interlocutore e assicura un posizionamento interno ed esterno di prestigio. Consolidare questo posizionamento nei confronti dell'ampio spettro di competenze che stanno emergendo nell'ambito delle moderne scienze e tecnologie aerospaziali richiede la condivisione di contributi da parte di diverse forze oggi presenti nel Politecnico, che pur afferendo ad altri Dipartimenti possono coinvolgersi in progetti di assoluta rilevanza scientifica, strategica, economica, dall'avionica al telerilevamento, dai materiali avanzati all'impiantistica, dalla simulazione numerica alla progettazione di sistemi complessi, dal controllo automatico all'ingegneria gestionale.

Il Dipartimento promuove attività di ricerca sia in proprio sia in collaborazione con enti pubblici e società private operanti nel campo aerospaziale e in settori affini. Un'attenzione particolare viene posta alle connessioni con gli *stakeholder* e più in generale con la rete di interlocutori, istituzionali e industriali, con i quali sono già attivi rapporti, promuovendo collaborazioni con enti governativi e internazionali e partenariati con realtà industriali nazionali e internazionali, favorendo il processo di internazionalizzazione sia del corpo docente che della popolazione studentesca. In particolare, il Dipartimento aspira al ruolo di partner proattivo con numerose società italiane e multinazionali che operano nel settore dell'aerospazio, in

modo da consolidare e rafforzare le collaborazioni con importanti soggetti industriali quali Alenia AerMacchi, AgustaWestland, CGS.

2.5 *Trasferimento tecnologico*

Una forte vocazione a cooperare con il mondo industriale e con la società per colmare il divario che spesso mantiene distanti i problemi del mondo reale con le potenzialità del mondo accademico rappresenta da sempre una scelta convinta del DIA, e a maggior ragione del nuovo DAST. La capacità di autofinanziamento dimostrata dal DIA testimonia questo legame imprescindibile, che si esprime in progetti di ricerca a breve e a lungo termine che hanno potenziali ricadute sulle aziende. Una strategia ad ampio spettro che consenta di perseguire questo obiettivo non può che basarsi su diversi aspetti, quali: stabilire contratti di ricerca, in collaborazione con le aziende nazionali e internazionali più importanti; promuovere partnership in diverse forme con le aziende; diffondere i risultati della ricerca nella società mediante pubblicazioni ed eventi dedicati; favorire la costituzione di spin-off o società indipendenti che vedano il contributo diretto di ricercatori del dipartimento; promuovere le attività brevettuali.

In aggiunta alle azioni riportate, il Dipartimento costituisce parte attiva del Distretto Aerospaziale Lombardo, nel quale il Direttore del Dipartimento è membro del comitato Tecnico Scientifico. Questa attività consente di mantenere un contatto continuo con aziende anche di piccole dimensioni che non hanno ancora una significativa tradizione di collaborazione con l'università.

Infine, il Dipartimento partecipa con un proprio rappresentante in ACARE Italia. La Commissione Europea infatti nel Gennaio 2001, in concomitanza con la pubblicazione del documento "European Aeronautics: A Vision for 2020" contemplava anche la *Creation of a new entity, the Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE), designed to turn the current patchwork into a research network by defining the content of the Strategic Research Agenda and helping to make it a reality*. ACARE Italia è quindi l'emanazione nazionale di ACARE Europe, e si pone come obiettivi: favorire lo sviluppo di una strategia di settore mirata al conseguimento di una maggiore incisività e autorevolezza del sistema nazionale di R&ST in ambito europeo e internazionale; svolgere un'azione di raccordo tra gli obiettivi nazionali e quelli individuati da ACARE Europa.

Un discorso a parte merita AWPARC, il centro per le ricerche elicotteristiche creato in cooperazione con AgustaWestland, che rappresenta una novità significativa nel mondo universitario e nel settore della ricerca, e un legame consolidato tra accademia e industria. Si tratta di un consorzio nato a valle di una collaborazione ventennale con Agusta prima, e con AgustaWestland recentemente, che poggia su legami diretti tra gli appartenenti al Dipartimento e molti dei dipendenti di AgustaWestland, la gran parte ex-allievi del Corso di Studi in Ingegneria Aerospaziale laureatisi con i docenti del DIA come relatori. Lo scopo per il quale è nato il consorzio è quello di consolidare una cooperazione continua su progetti a lungo respiro, almeno triennali. Per evitare il rischio che AWPARC catalizzi le risorse ricerca a discapito del Dipartimento stesso, è stato predisposto un doppio percorso che indirizza al Dipartimento, mediante le usuali forme di collaborazione (contratti, assegni di ricerca, dottorati), le ricerche di base e quelle di tipo fortemente innovativo e non direttamente legate a un prodotto, mentre indirizza ad AWPARC quelle più applicative e *product driven*.

La strategia di trasferimento tecnologico è comunque sviluppata in collaborazione con i servizi e gli uffici dedicati fondati dal Politecnico quali il Technological Transfer Office (TTO) e l'Acceleratore d'Impresa.

3. Rapporto tra ricerca e formazione

L'ingegneria aerospaziale ha da sempre costituito un ambiente di formazione molto stimolante per la intrinseca multi- e inter-disciplinarietà dei problemi trattati. La formazione in ambito aerospaziale prepara a un mondo complesso in cui ogni azione determina interazioni tra sistemi di diversa natura. L'attività e il mercato del lavoro nel settore aerospaziale del prossimo futuro richiedono modalità di formazione dei moderni ingegneri aeronautici e spaziali costantemente aggiornate.

Lezioni ed esercitazioni diventano attività formative in cui l'attitudine alla ricerca di un docente deve condurre all'esplorazione e all'acquisizione di conoscenze tecniche da parte dell'allievo, privilegiando aspetti metodologici prima ancora che contenutistici. Questa impostazione consente di trasmettere quelle capacità autonome di apprendimento permanente che devono essere segno distintivo dei futuri laureati in questo settore.

Il Dipartimento diviene pertanto il luogo dove accademici con diversa formazione scientifica, collaborando nell'attività di ricerca e di formazione, promuovono lo studio e la comprensione delle interazioni tra discipline diverse e rafforzano così le capacità di trattare sistemi complessi.

Il Dottorato di Ricerca, dove il rapporto tra ricerca e formazione diventa particolarmente stretto, rappresenta il livello più elevato di questa vocazione. Il Dipartimento ha sempre avuto un corso di Dottorato fin dalla introduzione di questo terzo livello di formazione, il che significa un'esperienza pregressa di ormai 27 anni. Cinque anni fa è stato introdotto un secondo corso di Dottorato, dedicato allo studio dei velivoli a decollo verticale, interamente finanziato da AgustaWestland. Con il XXVIII ciclo, il Dipartimento ha deciso di riunificare i due dottorati in un unico corso in Ingegneria Aerospaziale pur mantenendo due aree di ricerca specifiche: una a carattere più generale, *Aerospace Engineering*, e una diretta più specificatamente a una particolare classe di velivoli, *Rotary-wing Aircraft*. Quest'ultima si fonda ancora su un finanziamento completo di tre borse triennali supportato da AgustaWestland, a testimoniare ancora una volta la sinergia tra il Dipartimento e il mondo industriale.

4. Laboratori e altre strutture dipartimentali

Seguendo una tradizione consolidata, il Dipartimento intende assegnare all'attività sperimentale un ruolo di primo piano nelle attività di ricerca e nello sviluppo dei piani didattici. Obiettivo primario è il mantenimento e il potenziamento dei laboratori già disponibili e lo sviluppo di nuovi. Tra i laboratori in esercizio si ricordano il laboratorio per prove strutturali, il laboratorio aerodinamico, il laboratorio di tecnologie e materiali avanzati, il laboratorio di sistemi spaziali e il laboratorio di propulsione aerospaziale. Di particolare rilevanza è inoltre il laboratorio di *crash*, parte del laboratorio per la sicurezza dei trasporti LAST, situato nel campus Bovisa Est e dedicato a un'ampia serie di attività non limitate al mondo aerospaziale. Due ulteriori laboratori sono in fase avanzata di allestimento, e saranno dedicati a due aree di particolare interesse nell'ambito delle linee di ricerca presentate: il laboratorio per la simulazione del volo di elicotteri e per lo studio dell'interazione dinamica col pilota, e il laboratorio UAV, dedicato allo sviluppo di velivoli senza pilota e alle relative tecnologie di supporto, sia nel campo dell'ala fissa che in quello dell'ala rotante.

La grande Galleria del Vento del Politecnico di Milano (GVPM) è stata ideata e realizzata con il decisivo contributo del DIA e concepita come un impianto estremamente versatile che permettesse di svolgere attività sia nell'ambito aeronautico sia in quello dell'ingegneria del vento. Il Dipartimento opera attivamente e continuamente nella GVPM continuando a portare il suo contributo allo sviluppo dell'impianto stesso e promuovendo linee di ricerca che hanno, nelle possibilità offerte da tale impianto, un fondamentale punto di forza. La galleria ha costituito una importante risorsa per lo sviluppo della ricerca sulla aerodinamica dell'elicottero e ha permesso di essere partner attivi nelle attività sperimentali di diversi progetti europei. GVPM è stata inoltre utilizzata per applicazioni di ala fissa e in particolare per lo svolgimento di prove aeroelastiche, effettuate anch'esse nell'ambito di progetti di ricerca europei. La galleria costituisce, infine, uno spazio di applicazione delle competenze e delle tecnologie aerospaziali ad altri ambiti di ricerca che il Dipartimento ha promosso e continua a seguire (quali, per esempio, l'aerodinamica dello sport e lo sviluppo dei generatori eolici).

Il significativo patrimonio di cui dispone il Dipartimento DAST in termini di attrezzature e laboratori sperimentali è inoltre di supporto al consolidamento di una più intensa interazione tra ricerca e didattica e alla definizione di innovati percorsi formativi.

Riguardo alle altre strutture dipartimentali, continuerà lo sviluppo di AWPARC, il centro per le ricerche elicotteristiche creato in cooperazione con AgustaWestland, che rappresenta una novità significativa nel modo universitario e nel settore della ricerca, espressione di un legame consolidato tra accademia e industria.

5. Strategie di internazionalizzazione

Il carattere intrinsecamente internazionale di ogni rilevante progetto aerospaziale richiede che sia il personale docente che quello tecnico, ma anche gli stessi studenti di laurea magistrale e soprattutto di dottorato, siano naturalmente esposti a un ambiente multinazionale. La strategia dipartimentale per l'internazionalizzazione parte quindi da un terreno già fertile, e si orienta soprattutto sulla internazionalizzazione del corpo docente, che rappresenta una carenza tipica dell'intera organizzazione universitaria italiana. Una strategia in questo senso non può ovviamente essere dettata da un singolo dipartimento e prescindere dalla strategia del Politecnico stesso e dalla normativa nazionale.

La strategia per l'internazionalizzazione intende fondarsi principalmente su tre direttive, fermi restando i vincoli esterni al momento esistenti. La prima riguarda il coinvolgimento nelle diverse forme possibili di docenti stranieri, sia nei corsi di laurea magistrale e ancor più in quelli di dottorato. La seconda prevede l'incentivazione del corpo docente italiano ad aumentare la propria presenza internazionale, dai periodi di ricerca all'estero alla collaborazione stabile con università straniere, europee e non, non solo nell'ambito della ricerca ma anche in quello della didattica. La terza passa attraverso l'incremento di studenti di dottorato stranieri e al contempo promuove la permanenza all'estero per i dottorandi italiani.

Allegato 1 – Progetto Culturale

Department Foundation – A Cultural Project. Release 9, January, 2012.

Allegato 2 – Keywords

Allegato 3 – Docenti afferenti

POLITECNICO DI MILANO



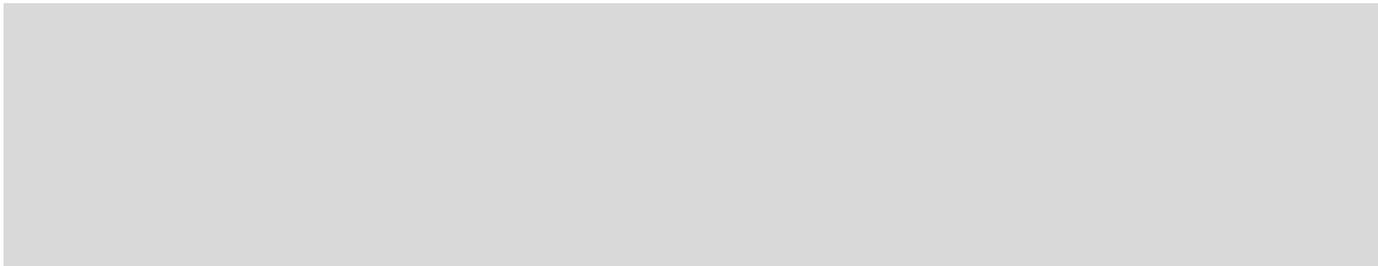
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali
(DAST – Department of Aerospace Science and Technology)

Department Foundation

– A Cultural Project –

RELEASE 9

January, 2012



This document sets out the cultural terrain for the foundation of a new Department of Aerospace Sciences and Technologies at “Politecnico di Milano”. In a sense, it provides the cultural premises underlying the evolution of the existing “Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale” (hereafter referred to as DIA in this document), into a new Department with a broader range of expertise. It therefore constitutes a roadmap for the future of Aerospace Engineering at the Politecnico.

This document is made up of three parts. Part I describes the Department’s guiding principles (Section I.1). This is followed in Section I.2 by an overview of the importance of aerospace activities in the world. Next, the outstanding background inherited from DIA is outlined in Section I.3, and the features of the new Department are sketched out in Section I.4.

Part II illustrates the Department’s strategic research plan. It consists of three strategic areas that constitute important challenges and opportunities for aerospace and for society:

1. Aviation and the Environment
2. Complex Aerospace Systems
3. Earth Observation and Space Exploration

Part III expresses the Department faculty’s commitment to teaching. It contains only one section on Advancing Engineering Education.

I. FOUNDING PRONOUNCEMENTS.....	3
I.1 Guiding Principles	3
I.2 Aerospace in the World	4
I.3 Department Background	5
I.4 A new Department	8
II. STRATEGIC RESEARCH PLAN.....	9
II.1 Aviation and the Environment.....	9
II.2 Complex Aerospace Systems	11
II.3 Earth Observation and Space Exploration	13
III. A COMMITMENT TO TEACHING	16
Advancing Engineering Education	16

I. Founding Pronouncements

Three elements lie behind the foundation of a new Department for Aerospace Engineering: the worldwide importance of the aerospace engineering field, a keen awareness of our role in this field, and a solid background in aerospace engineering at Politecnico di Milano.

I.1 Guiding Principles

Aerospace Engineering is at the cutting edge of disciplines that foster human progress. It is rich in exciting challenges and offers great opportunities for students and researchers to contribute to flight transportation and space exploration, while paying attention to human safety and the environment. The forefront technologies in the aerospace field have widespread repercussions in many other fields of primary importance for society.

While it is not easy to predict the precise future of the aerospace world a decade or two from now, one may envisage the most likely scenario. Commercial high-speed flight will become a common form of travel. Unmanned flight will become increasingly important. Safer and quieter vertical flight will enable direct air travel into city centers and complex environments. Parts of the hub-and-spoke travel system will be replaced by new point-to-point models. New air routes will open up new corners of the world and pose new challenges to aircraft designers. Satellite-based technologies will pervade our lives in ways we cannot yet imagine today.

All the challenges posed by the future aerospace scenario are major opportunities for research and development that motivate the foundation of a new Department. The birth of the new Department is accompanied by the following vision, mission and goals, and a number of proud founding values that will permeate its future life.

Vision

- Our vision is to be internationally recognized as one of the leading institutions in the world's aerospace community, pursuing excellence in research, education and knowledge transfer.

Mission

- To preserve and advance knowledge in aerospace engineering through leading edge research in order to find solutions to present and future demands of society.
- To intensively pursue fundamental research to provide solutions for tomorrow's problems.
- To create and develop forefront technologies to play a proactive role in our partnership with the aerospace industry.
- To provide students with a solid background in aerospace engineering and train qualified engineers for leadership positions in several technical fields in society.
- To make the Department a leader in the national and international aerospace community.

Goals

- To foster research opportunities that will improve tomorrow's aerospace technologies, in cooperation with people from universities and industries all over the world.
- To educate young people attending aerospace courses through modern teaching methods and international exchanges of faculty and students.
- To develop the PhD program into a first-class international course, populated with high-quality foreign students and teachers.
- To enhance fund raising capabilities by furthering national and international ties.
- To maintain state-of-the-art laboratories and facilities, which are essential to support education and research.
- To improve the performance of our University in international rankings.

Values

- An innate passion for invention and engineering and in particular for all kinds of flying vehicles.
- A continuous endeavor towards high-level research, publishing and teaching.
- An innate capacity to further the intellectual and professional growth of faculty and staff.
- A strong commitment to provide the best-quality education to our students.
- A friendly partnership with industry and other national and international research centers.
- A strong sense of responsibility regarding our professional duties and a sense of service to human society.
- A deep sense of community and mutual respect and a belief that a collegial, collaborative and welcoming environment is vital to our success.

1.2 Aerospace in the World

Today aerospace activities are flourishing worldwide in spite of the crisis affecting the economies of many countries. Only a few marginal sectors are experiencing recession. Moreover, new countries are developing manufacturing capabilities and want to work side by side with long-established Western firms that are still at the forefront of the field, and with the booming industries of Asia and Latin America, which are trying to grow through collaboration and competition.

This situation is the result of many factors. Aviation has always been considered a vital defense and security asset of every country, to be managed as independently as possible. Technical capabilities have been maintained in every developed country and have grown in many developing countries starting with maintenance and extending to design and manufacturing, often regardless of the economic prospects. This has been the case of nations that are now big players on the world stage, where aeronautical and sometimes space capabilities represent the apex of a growing industrial base. Aviation is often an issue of visibility and authority, or a way of building international ties. In any case, tackling challenging issues increases credibility and drives technical progress.

The need for physical connectivity has grown steadily over the past ten years, and despite the available alternatives, air transportation is still the only way to satisfy this need in the case of medium and long distances in developed countries. This is also true of short distances in many places where ground transportation is impractical. There has been a huge increase in passengers in recent years despite continued political and economic turmoil. The air transportation system has proved to be much more resilient than it was some years ago. The globalization of individuals has occurred mainly through the air and a sort of national and international air commuting has begun. This commuting adds to the more traditional forms of business and tourism travel and has been made possible by the introduction of new, more effective business models, much more efficient new aircraft and better integrated air traffic management. In the next 15 years, Airbus forecasts that RPK (Revenue Passenger Kilometers) will double with a yearly mean increase of 4.8%. The increase in aircraft movements is less than half the increase in passengers. This is a measure of the growing efficiency of the system; nonetheless, 1400 new aircraft will be needed every year.

The availability of an efficient air transportation system acts as a multiplier of the value of the economic activities of a region or a nation. Besides increasing business and tourism, it promotes freight transportation, which is now the main method of shipment for valuable goods. Indeed, goods transported by air are only 5% in volume, but they are 35% in value.

Space activities are another outstanding asset supporting economies on both a global and a local scale. Satellite communications, navigation, and weather forecasts are conveniences that are taken for granted in many human activities. Only a very small number of people are involved in the design, production and management of space vehicles in comparison with other activities; nevertheless thousands of organizations and millions of individuals, including those in underdeveloped countries, rely on them.

The capacity of aerospace activity to promote the development of industrial and social activities (aerospace is estimated to account for 8–9% of the world's Gross Domestic Product), has been understood by the governments and economic forces of the so-called BRIC countries, namely Brazil, Russia, India and China. Their aerospace activities are steadily improving in every area: recouping old positions (Russia), reaching an unexpected top seller

position in some niches (Brazil), and implementing strategic plans to become an independent industrial power in both the military and commercial fields (China and India). This process is characterized by two features: constant attention to human resources (these countries are raising new generations of scientists and engineers both at home and abroad) and cooperation to fill the gaps they still have in many fields. It is noteworthy that a nation like South Africa has recently chosen to set up a national space agency.

Even in Europe, Great Britain has reversed a decision taken a few decades ago and chosen to create a space agency to better coordinate national activities and play a more important role on the international scene. The Netherlands offers a unique example of the importance of the aerospace arena. When Fokker, a firm with a rich history of technological achievements, ceased aircraft production, NLR and TU Delft, i.e. two of the most outstanding aerospace research organizations in Europe, were nevertheless allowed to survive and became even more active as international partners.

Indeed Europe remains a privileged partner in international joint ventures. It is sought as a reliable partner for the outstanding contribution it can make to science, technology and development, and it is often preferred to North American partners. Europe represents excellence and is in the top flight in some fields. Nowadays Airbus is the world leader in jetliner production (about 1400 orders received in 2011), a position which only a few years ago was considered unattainable; in the helicopter civil market two European firms are the major players, and European satellites and launchers are recognized as excellent products. Italian firms often play a role as product designers either as first or second tiers. European industries are expected to play a primary role in the aerospace field for many years to come. This is one of the few manufacturing sectors where competition is open and long-standing tradition is a valuable asset.

The aerospace world has paved the way for technological innovation in many sectors. Today, research is still seeking to improve on traditional performance factors such as speed and endurance in aeronautics, especially if it is for military interests, or space exploration for scientific purposes, but most resources are devoted to the pursuit of global efficiency, both in the civil and military fields. The explosive growth of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) is a clear trend. Environmental concerns are constraints that must be evaluated with utmost care. Especially in Europe, they are among the most important drivers of research and innovation in aeronautics because of their impact on the complexity of aerial vehicles: airframe, propulsion, onboard systems and navigation instruments. Moreover, space vehicles are increasingly dedicated to Earth observation. New challenges arise every day, and new people are eager to take them up every day. Join the team!

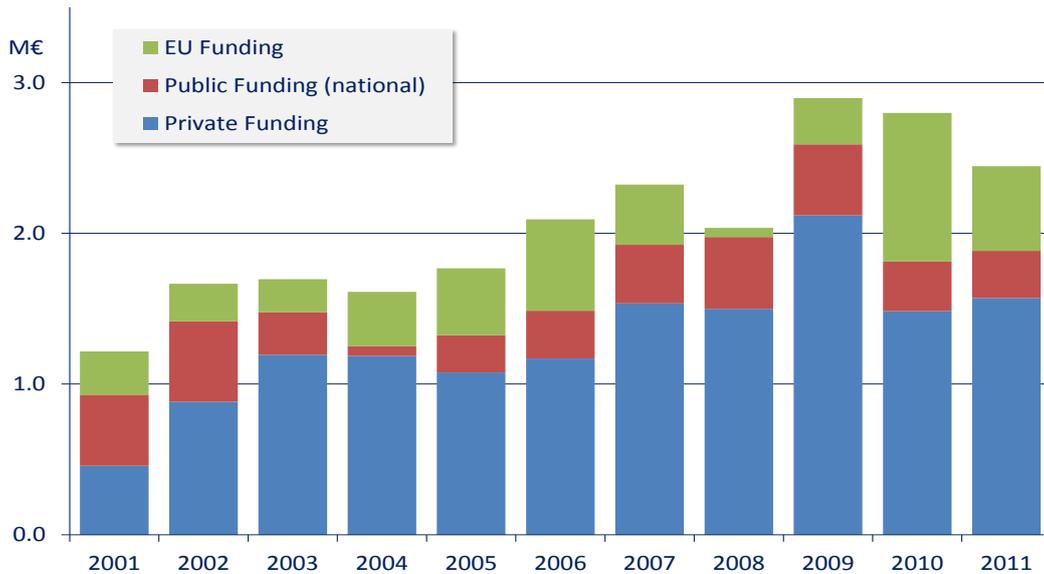
1.3 Department Background

Politecnico di Milano has a deep-rooted tradition in aeronautical engineering, dating back to the late 19th century, when its alumnus Enrico Forlanini flew a steam-engine helicopter model. In the early 20th century, the first course in Aeronautics was introduced and the first experimental facilities, including a wind tunnel, were created. In those years, Forlanini was pioneering innovative craft such as airships and hydrofoils. Later, in the 1930s, a group of students founded a gliding center where many advanced concept sailplanes were designed, built and flown. The center was a valuable theoretical and practical training ground for many young minds, some of whom would become famous designers of flying machines.

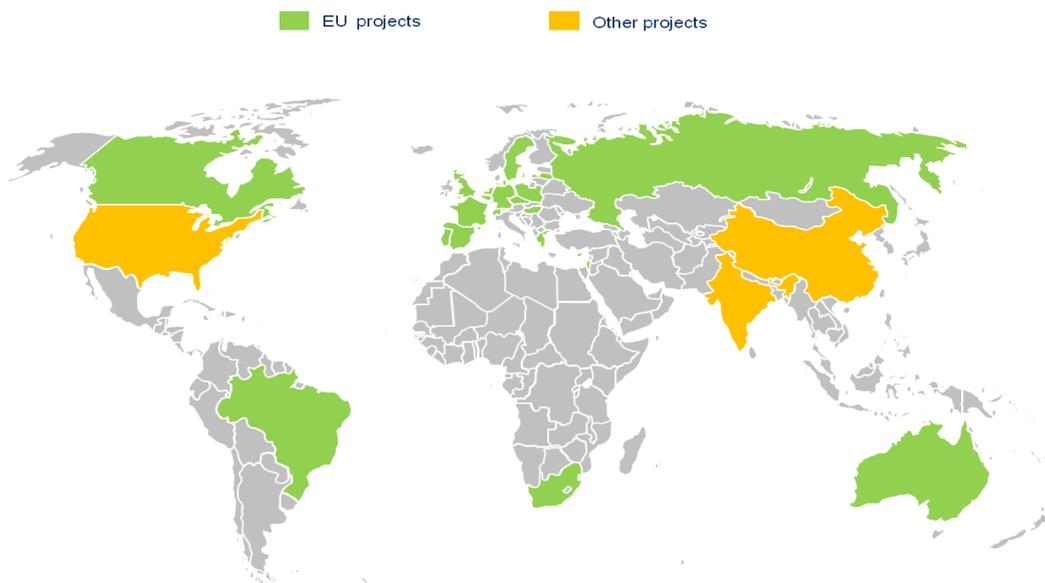
In the second half of the 20th century, an Aeronautical Institute — later the Department of Aerospace Engineering (DIA) — was established at the Politecnico, and grew under the leadership of one of those young minds, Prof. Ermenegildo Preti. Expertise in aerodynamics, structural dynamics and flight mechanics grew; new fields of knowledge such as aeroelasticity and rotorcraft dynamics were promoted; new disciplines and experiments related to space missions were pursued. Meanwhile, a novel exclusive research field — crashworthiness — was introduced for the first time in Italy and a dedicated experimental facility was built.

In the two decades around the turn of the millennium, DIA is living feverishly its mature years. Wearing difficulties are intertwined with great achievements. Relocation to a new campus the other side of Milan has led to more space for faculty and laboratories. The number of people has grown — more temporary young researchers, but also more students, lowering the lecturer-to-student ratio. Teaching has been affected by three sets of national government reforms that are constraining our degree programs. However, research activity has expanded considerably, both on the experimental side and on the theoretical and numerical aspects. Aerodynamics and

structural testing labs have grown in methodologies and facilities; new labs for space components and space propulsion have become available; advanced labs for material characterization and non-destructive inspections, focusing on composites and smart structures, have been created; major new crash lab facilities have been built, including the 60+60 m horizontal sled and the tower and pool for vertical impacts on water; a flying lab has been set up on an ultralight airplane. Faculty and technical staff are collaborating on the design and operation of the Politecnico’s new large wind tunnel facility, equipped with a 4x4 square meter test section. At the same time, original software tools have been developed for advanced numerical experiments, and often distributed as free software. They include, among others, adaptive solvers for computational fluid dynamics, non-linear FEM codes and design tools for computational solid and structural mechanics, tools for computational aeroservoelasticity, multibody dynamics codes, a real time application interface, a library of material models for composite damage, as well as tools for multidisciplinary design of wind turbines.



DIA – Fund raising in the last decade (10/12 months in 2011)



DIA – Cooperation in international research projects

The extensive research work done by the faculty over the years has greatly relied on the commitment of highly qualified technical staff and on the contribution of skilled research assistants and PhD students. Partnerships with external bodies — both public and private — have also contributed to the success of this activity. For instance, a

close partnership with a big rotorcraft company, AgustaWestland, enabled us to establish one of the very few doctoral programs in the world specifically devoted to VTOL vehicles, and to launch a consortial rotorcraft center, the AWPARC. The Department's activity relies greatly on significant private and public funding; the former has always been the main source of income in the last decade (see the bar chart above), whereas the latter is increasingly linked to participation in projects funded by the European Union. DIA has in fact been involved in 27 EU projects starting with the Third Framework Program, and is currently a partner in 12 EU projects under the last Seventh Framework Program (FP7). These research activities have led to the Department increasingly cooperating with research centers, universities and industries all around the world (as shown on the planisphere above).

Today, at the end of a troubled decade, DIA is actively engaged in several high-quality research fields. The focus of the research is mostly flying machines, ranging from unmanned vehicles to rotorcraft, aircraft and spacecraft, but also other machines as for instance land vehicles, watercraft and wind turbines. Eight major research fields can be identified.

- *Fluid Dynamics* – Dense gas dynamics, turbulent flow control, computational fluid dynamics, rotorcraft aerodynamics, hypersonic jets.
- *Rotorcraft Dynamics and Aeroservoelasticity* – Multibody/multidisciplinary analysis, system identification, model reduction, rotorcraft trajectory optimization, rotorcraft aeroservoelasticity with pilot coupling, unmanned rotary wing technologies, wind energy technologies.
- *Structural Dynamics and Aeroservoelasticity* – Multi-fidelity tools for structural modeling, aeroservoelasticity and aeroelastic control, design of morphing wings, passive and active control of noise and vibration.
- *Aircraft Operations* – Safety management, human factors in aviation, flight test procedure analysis, development of flight test instrumentation, light aircraft certification.
- *Space and Propulsion* – Space trajectory optimization, space robotics and drill systems, space mission design, propellants and fuels for solid and hybrid rocket propulsion, highly metallized solid rocket propellants, nanoparticle characterization and combustion properties.
- *Structural Modeling and Testing* – Shell modeling in computational solid mechanics, buckling and post-buckling investigation of composite thin panels, fast tools for analysis and design of stiffened panels, composite damage models.
- *Materials Processing and Technologies* – Processing and health monitoring of composite structures, composite matrices and fiber/matrix adhesion, innovative composite technologies, micro-mechanics of short-fiber reinforced ceramic composites, smart materials for structural morphing, bio-composites and bio-mimetic structures, self-healing materials and strategies.
- *Crashworthiness* – Impacts with fluid bodies, analysis and optimization of rotorcraft crashworthy structures, bird impacts, motorcyclist safety, damage tolerance of composites, ice impacts.

Among the research fields listed above, five research areas (computational fluid dynamics, numerical methods for rotary-wing aerodynamics, multibody dynamics, vehicle dynamics, post-buckling testing & analysis) have been judged excellent by an international peer-review board during the 2003-2006 Research Assessment Exercise. Specifically, the reviewers envisaged “a huge opportunity for the Department to become the leading European Institute on Rotorcraft”.

Despite the great amount of scientific work being conducted, DIA in its mature age is suffering from some birth defects that limit its development. In Italy, the scientific disciplines related to aerospace engineering are rigidly classified by an old national regulation, which is based on an outdated taxonomy: flight mechanics, structures and manufacturing, onboard systems, fluid dynamics and propulsion. As a consequence, professors in flight mechanics promote academics in flight mechanics, professors in structures and manufacturing promote academics in structures and manufacturing, and so on. This leads to a strong sense of belonging to a specific branch, which may hamper openness to new disciplines and slow down interdisciplinary progress. Despite notable examples of multidisciplinary work and cross-fertilization of ideas in today's research activities, the department community is somewhat crippled as regards academic recruitment. As a matter of fact, the department faculty is almost exclusively made up of its own graduates: the brightest young minds willingly follow their mentors and the latter are eager to call them into academia. All this means that DIA may grow slowly, but cannot expand.

In the 21st century, aerospace engineering needs a wider range of disciplines than those presently nurtured at DIA. **It is felt that the Department must now expand, not simply grow.** A New Department is wished for.

I.4 A new Department

The new Department will carry out research and training activities in a broad aerospace context, focusing in particular on the most advanced and challenging engineering fields. By virtue of its inherited tradition and nature, the Department's activities will transcend the limits of the aerospace field and will export advanced technologies to other areas of human civilization. The Department's activities will affect different areas of society, including the effectiveness, efficiency and safety of atmospheric and space vehicles; environmental protection in aerial transportation; the exploitation of wind as a source of energy; the exploration of space; the training of highly professional engineers.

The Department will act both by fostering independent research and developing cooperative research with companies and public and private bodies in the aerospace field and beyond. Increasing attention will be paid to the connections and interrelations with stakeholders and society as a whole, ranging from the role played by the Department inside the Politecnico to collaboration with government and international agencies, to partnerships with national and international industry, as well as promoting the internationalization of both faculty and studentship. In particular, the Department wishes to become a proactive partner of most Italian and multinational companies operating in aeronautics and space, as well as strengthen the partnerships and consortia already established by DIA with important companies such as AgustaWestland, AerMacchi and CGS.

Further expertise is needed to expand the old Department's solid core knowledge in aerospace science. Engineering fields such as avionics, turbine engines, vehicle maintenance, airports and ground operation, as well as satellite data management, are of great interest in aerospace activity but were hardly addressed by the old Department except for educational purposes. The conception of the new Department is by its very nature open to the acquisition of skills in these and other fields of aerospace interest. This may be achieved in one of two ways: on one side, migration of minds from other departments inside Politecnico or possibly from other universities, also from abroad; on the other side, recruitment as faculty members of academics who have won national competitions.

The expansion of the range of skills nurtured at Politecnico di Milano, and addressed to aerospace activity, may open up and feed new streams of research and teaching. To meet this goal, a strategic research plan based on three strategic areas and a commitment to teaching in them have been defined, as detailed in Parts II and III of this document below.

The transition from the old Department to the new Department calls for an internal re-organization of administrative, teaching and research duties. Besides the offices and bodies established by the Statute of Politecnico di Milano (Director, Deputy Director, Managing Board, and Department Assembly), a number of other authorities and boards will have to be introduced to help manage both teaching and research activities. On the teaching side, they would foster a closer interconnection between training and research activities. On the research side, in relation to the strategic research areas described in the next sections, they will be responsible for monitoring the various projects carried out, from the presentation of the research to evaluation of the results. The research fields will be reorganized in a more flexible system than the one which has resulted from the outdated taxonomy (flight mechanics, structures, systems, fluid dynamics, and propulsion) mentioned previously. Finally, the Department Labs, which include hard experimental facilities, software development and maintenance environments, will be organized independently of the research units; although autonomous, they will be fully coordinated to make maximum use of resources.

II. Strategic Research Plan

In accordance with the vision, mission, goals and values pronounced above, the Department has chosen three strategic areas which represent important opportunities for aerospace and for society. The Department is committed to strengthening its capabilities so as to continue to contribute solutions to the complex multidisciplinary challenges that exist in the selected areas.

II.1 Aviation and the Environment

The air transportation system will continue to grow over the coming decades. The next generation aircraft will be required to fly higher, faster and farther. At the same time, a higher level of durability and maintainability is needed in order to reduce operating costs i.e. life-cycle costs. But of paramount importance is the objective of reducing fuel wastage and protecting the environment, e.g. by reducing in-service pollution and recycling end-of-life components.

More efficient aircraft structures: lighter, safer and smarter – The direct link between the structural weight and the impact of aircraft on the environment has been known since the infancy of aviation. Indeed, a 1% structural weight saving can lead to approximately 0.5% to 1.5% benefit in fuel consumption, depending on many factors, particularly aircraft configuration and range, and on whether the whole aircraft design can be re-shaped in the optimal configuration following the weight change. As continuous improvement in conventional configurations will deliver benefits up to an approaching asymptote, alternative configurations, able to introduce a step change in the aviation requirements towards the 2050 timeframe, will be introduced, such as for example ultra-fast rotorcraft and tilt-rotors, blended-wing-body (BWB) and morphing aircraft. These new aircraft configurations will require innovative structural concepts that are able to sustain unconventional load distributions and at the same time meet the necessary safety requirements. Being lighter structures prone to instability phenomena, these requirements also offer a set of research challenges involving many aspects such as integrated, multidisciplinary optimal design, new crashworthy architectures, innovative manufacturing and testing technologies, and unconventional maintenance strategies. Research topics will include, among others: multifunctional, smart structures and materials and related integrated solutions necessary to implement advanced technologies such as health monitoring, as well as morphing concepts, capable of modifying aircraft geometry and properties; innovative materials, including metallic light-weight or advanced composites reinforced with carbon nanotubes, hybrid composites such as fiber metal laminates; materials able to deliver new capabilities like self-repairing and signal carrying; materials derived from renewable sources, like bio-composites, made of recyclable or bio-degradable resins reinforced with natural fibers.

Advanced technologies for aerodynamic drag reduction – One obvious strategy to design and operate a greener aircraft is to make it more fuel-efficient by reducing the thrust required, which means reducing aerodynamic drag. For commercial airplanes, the key

Goal: Reduce the environmental impact of aviation and transfer cutting-edge aerospace technologies to the renewable energy field

Despite the recent economic crisis, air traffic will continue to increase over the coming decades. Innovative ideas are needed to achieve substantial improvements in the performance of the air transportation system while minimizing the impact on the environment and maximizing flight safety

component of aerodynamic drag is turbulent friction drag, which is responsible for significant fuel wastage in almost all transportation modes. Friction drag is also the drag component with the largest reduction potential. Next-generation aircraft will thus leverage devices and strategies aimed at achieving significant savings in friction drag, including passive (e.g. next-generation riblets) as well as active control devices. The latter are based on either theoretically simple open-loop strategies or more complex, MEMS-based feedback-control approaches. Flow control incorporates essential elements from control theory, flow physics, fluid mechanics, Navier-Stokes mathematics, and numerical methods. Research and development of suitable actuators, with special attention to their economic and energy costs, will become an essential part of the research program, ranging from smart skins to synthetic jets and plasma actuators, without neglecting all those strategies (e.g. bubbles and polymer injection) designed to change the physical properties of the fluid in the boundary layer.

Optimal design methodologies for terminal flight paths may lead to significant reduction in aero-acoustic noise near airports, as well as in pollutant emissions and fuel consumption

Lower noise impact – Community noise is one of the biggest obstacles to widening the exploitation of air transportation. The technical developments of the last decades have allowed a significant reduction in external noise, but the growth of human settlements around airports makes these efforts partially ineffective. New technologies are needed for the next 30 years, including innovative aircraft configurations, like the blended-wing-body concept that offer promising benefits both in terms of fuel consumption and noise reduction, together

with less radical reconfigurations, like wing shape morphing that may avoid noise generation from multiple-slot flaps and slats. At the same time, current technologies can be exploited and enhanced, by looking for instance for optimal design methodologies for terminal flight paths, which may lead to significant reductions in aero-acoustic noise near airports, as well as in pollutant emissions and fuel consumption. Improvements of terminal flight paths are becoming vital for the economic and ecological management of air traffic in view of the increase in air traffic expected in the coming years. Modern design and analysis tools, developed for advanced rotorcraft trajectory optimization problems, have the potential to exploit the advantages of 3-D, curved flight-path tracking relying on satellite navigation instruments and related technologies. These tools will enable us to contribute significantly to the optimization of incoming and outgoing flight paths under environmental constraints, e.g. ground noise constraints.

Travelers' comfort and safety – Cabin noise is another important aspect to consider, as it affects comfort as well as flight safety, because of the stress induced in crew members (this is particularly relevant for helicopters and small aircraft). Both active and passive control technologies have been researched but their presence on production vehicles is still rare. The development of robust, reliable and effective active-control systems on one side, and of smart passive-control design alternatives on the other, is being fostered and needs the integration of capabilities coming from different scientific areas, including physicists, physiologists and mathematicians, besides structure and control specialists.

Advanced technologies in rotorcraft design and manufacturing are being successfully transferred to the renewable energy field

Wind energy – In the last decade wind energy has grown significantly as a result of an increasing demand for alternative energy sources. The wind energy industry's goal is to provide 20% of the total EU electricity consumption by 2020. This can be achieved by increasing wind turbine size, which is now moving towards the 10–20 MW range, and/or the size of wind farms, and also by exploiting off-shore resources. These

strategies require considerable research efforts and technological breakthroughs to achieve cost reductions and to improve reliability. In this scenario, the Department has the potential to make a significant contribution to the advancement of wind energy research as

a result of its ten-year experience in the field and its world-class background in the neighboring technological area of rotorcraft engineering.

Larger and more efficient wind turbines – Future research activities in this field will be driven by the ever-growing size of modern and future wind turbines. Meeting the goal of designing extremely large machines capable of operating off-shore in a reliable and cost effective manner will require advancements in many technological domains, including, among others, the multi-disciplinary design of advanced blades, the active and passive reduction of extreme and fatigue loads, and the integration of sophisticated sensors with advanced control laws. All such activities can be carried out only if numerical prediction tools are available, which can model all coupled relevant physical processes to the required level of fidelity. At the same time, synergic experimental work is required not only to enable the testing of new ideas and technologies in the controlled environment of the lab, but also to allow the gathering of data that would be too expensive or impossible to obtain in the field. Such data will in turn play a key role in the calibration and validation of the developed mathematical models and associated numerical algorithms.

II.2 Complex Aerospace Systems

The aerospace industry conceives, designs, implements and operates systems that are so complex as to require a team approach based on two main concepts: a multidisciplinary research attitude and an integrated experimental/numerical method of investigation. A few examples will illustrate these paradigms.

Integrated aero-servo-elastic modeling is becoming common practice in the design of modern aircraft from the conceptual design stage. The reduction in weight of aircraft structures in order to lower operating costs is driving the search for more flexible airframes, which unavoidably run into significant aeroelastic phenomena. From an engineering point of view, aeroelasticity has always been a complex science, bridging two specific disciplines of mechanics that are difficult in themselves, fluid and solid mechanics, now coupled with robust control techniques due to the pervasive presence of control systems in all aerospace systems. The design of future flying vehicles will increasingly rely on such integrated modeling, as modern investigation of aircraft aeroelasticity must be tackled considering the interaction between the Aircraft Flight Control System (AFCS) and the pilots. Intensive research in this field will allow to investigate, both numerically and experimentally, new aeroservoelastic control concepts, and will produce new, effective design approaches, able to verify the dynamic stability with all possible systems in the loop, and to enhance aircraft handling qualities and global efficiency, as in the case of morphing technologies. Methods and tools developed in this context would be exploited in the more general field of fluid-structure interaction, not limited only to the design and operation of flying vehicles.

High-fidelity multi-scale models are mandatory in the analysis and design of complex aerospace systems. These include Computational Fluid Dynamics (CFD) tools to determine, for example, the aerodynamic loads on the aircraft, the flow within hydraulic and pneumatic systems, the thrust of jet or rocket engines. Similarly, detailed Computational Structure Dynamics (CSD) simulations are used to predict the structural response when material or geometric nonlinearities are present, such as in post-buckling, impact response, or damage tolerance modeling. A multi-body approach provides multi-physics models fit for fluid-structure interaction simulations, flutter prediction and aerodynamic-structural trimming of helicopter rotors. The latter applications today call for coupled CFD/CSD

Goal: Develop experimental, modeling and simulation multidisciplinary techniques to efficiently represent and control complex aerospace systems

New design approaches based on integrated aeroservoelastic concepts will make it possible to control the dynamic stability with all possible systems in the loop

approaches, which are presently being investigated and developed in the framework of industrial and EU funded collaborative projects.

The combination of multi-fidelity, multi-scale and reduced-order computational models has the potential of radically reducing the cost and time required to produce innovative designs for aerospace and related systems

Reduced order modeling of complex systems is another related field of intensive research to achieve the design procedures for tomorrow's aircraft. ROM (Reduced Order Models) are powerful tools for the design of dynamic systems. Basically, the concept is to replace accurate, but large mathematical models of complex phenomena (e.g. CSD, CFD, or other discretized PDE models) with much smaller models that are still able to reproduce the most representative aspects of the original ones. After identifying the key system properties to be preserved in the ROM, the task is to develop efficient and numerically robust computational techniques. The research in

this forefront field will provide the appropriate algorithms for ROM generation and define the design approach to aerospace systems exploiting ROM capabilities.

Simulating and testing highly nonlinear phenomena is a capability needed to tackle several important behaviors of aerospace systems. Applications in which nonlinear phenomena are relevant include massive flow separation, fluid-structure interaction, impact dynamics in crashworthy design, structural and flow instabilities and control, modeling of the inelastic

behavior of composite materials, modeling and testing of thin structures subject to static and dynamic instability, modeling of the interactions between post-buckled conditions and damage propagation in composites, and more. The Department is committed to advancing the methodologies and the procedures to model, simulate and test highly nonlinear phenomena in most fields relevant to — but not limited to —

aerospace applications. For instance, multi-scale numerical simulations, together with complex experimental testing, are paramount in crashworthiness. To extend the present envelope of accident survivability in ground impact and ditching, research must be focused on crushable passive structural components, smart/adaptive energy absorbers, fuel systems with controlled leakage, active devices such as internal/external airbags, and cabin architecture delethalisation. Research and design assistance needs skill in modeling large deformation of the vehicle structures, self-contacts, junctions rupture, fluid-structure interaction, biomechanics of impacts of occupants and complex material dynamic responses. Targeted testing with crash and dynamic facilities provide indispensable results to refine and validate the numerical models.

Continuous improvement of modeling capabilities is essential to tackle the challenges of high-quality technology development

The requirement of high-quality experimental testing will still be fundamental to assess new designs in the near future

Multi-functional components and structures could offer a decisive boost for the success of composite structures, due to their capability to integrate different features, thus transforming themselves into engineered materials and becoming multi-functional systems. These systems will become the natural way of implementing advanced structural concepts

like Health Structural Monitoring (HMS) and structural morphing, thanks to the integration of sensors, like fiber optics, and actuators, like shape memory alloys and piezoelectric components. The modeling of such integrated nonlinear systems will require fully multi-disciplinary and, in some cases, multi-scale approaches.

Multidisciplinary analysis, design, and optimization methodologies allow one to move away from the build-test-build approach, which has proven to be expensive and ineffective in exploring the aerospace design space. Multidisciplinary Optimization (MDO) processes develop synergistic benefits by integrating humans, analytical tools, experimentation, and information to design complex components and systems. These approaches lead to the development of optimal configurations to achieve design objectives, and they enable designers to evaluate the myriad what-ifs that characterize sophisticated designs with interdisciplinary trade-offs. MDO methodologies have an inherent abstraction capability so that they can be applied to many, different disciplines, by combining different kinds of models at different levels of fidelity. One of the major efforts needed to improve MDO capability must be directed at including the effects of uncertainty in the design process, as well as increasing the level of detail in representing the structure. New ways of formulating problems that incorporate quantitative reliability measures to facilitate effective design decisions have been considered in this context. The extension of these approaches to large-scale multidisciplinary design problems constitutes an entirely different level of problem complexity. Use of commercial tools in optimization is not enough to advance the state of the art in MDO. Optimization is only one piece of the analysis, design, and optimization triad. It is the tightly integrated development of analysis and optimization tools that furthers the potential of MDO methods.

Helicopters and advanced rotorcraft configurations, like tilt-rotor aircraft, are representative examples of very complex, interdisciplinary systems. Rotorcraft aeromechanics is an open research field that borrows techniques from many fields of engineering and science and often produces original contributions. Aeromechanics encompasses aerodynamics, structural dynamics and aeroservoelasticity, flight controls, handling qualities, and, generally speaking, the dynamics of all subsystems that can interact with the vehicle's operation, including pilots' biomechanics and neuromuscular activity. Emerging areas of interest are related to the sometimes contrasting goals of performance improvement and better environmental compatibility. The first area includes the increase in efficient cruise speed by further refining conventional designs and resorting to radically innovative designs, like tilt-rotors, compound machines, and more. The second area focuses on exterior and interior noise reduction by developing innovative aerodynamic shapes and identifying quieter operational procedures, by developing novel materials and structural solutions, and by resorting to active noise and vibration control.

The overall design process relies on the analysis, design and optimization triad: tight integration of specific tools is the distinguishing trait of MDO methods

Modeling, simulation and design of rotorcraft systems push the limits of the current state-of-the-art in multiple engineering fields

II.3 Earth Observation and Space Exploration

Interest in autonomous systems has rapidly increased in recent years. Recent world events have highlighted the role played by military Unmanned Aerial Vehicles (UAV), with flight hours increasing from about 1,300 in 1991 to more than 160,000 in 2006. However, “autonomous systems” is a general purpose definition that also includes systems for space and ground exploration. Most space activities are based on robotic missions, and ground based robots are under development for special applications in deep water or harsh environments.

Goal: Design, implement and manage atmospheric and extra-atmospheric autonomous systems and related technologies

Successful applications of unmanned aerial vehicles and systems will impact the day-to-day life of our society in many sectors like exploration, surveillance, monitoring, and disaster prevention

Design and control of UAV systems in complex environments – Concerning UAVs, an increased level of interest is observed in civilian applications related to disaster and emergency response, such as firefighting and first-responder missions. A challenge for the evolution of these systems is to increase their level of autonomy; other open research challenges concern integrating autonomous systems within broader heterogeneous systems, characterized by a large number of components, and in determining the most effective blend of autonomous and human-centric control. For example, how can we integrate a number of UAVs sharing the same air space with hundreds of civil aircraft? How can we plan and control the mission of a formation of air or space autonomous vehicles? The development of multi-agent mission control architectures, the optimization of flight paths and the design of micro-robotcraft UAVs, are only a few of the research topics the Department will focus on.

Robots on faraway planets are the long arm of humans: they need smarter and smarter brainpower to accomplish the demanding duties imposed by the forthcoming space exploration missions

Robotics systems for space applications – Space engineering relies primarily on robotics in a broad sense: the more orbiting space systems increase in number and performance, the more robotics is involved as human intervention lacks in timeliness, efficiency and availability. The future strategic plans of the international agencies in space exploration and exploitation motivate the Department to focus its research on some of the fundamental topics that robotics entails. Vehicles in harsh and unknown environments must be capable of interacting with the environment itself, sensing the surrounding conditions and even reacting to unpredictable events in a timely and safe manner. To achieve these functionalities, new technological solutions for actuation, control, vehicle management (enhanced in terms of performance, weight, reusability) are fundamental topics that research must focus on. A challenging technological field considered necessary to the success of unmanned space missions is the development of advanced self-repairing materials. Bio-mimetic structures made of smart materials will be exploited to deploy gossamer structures, to actuate space robot/exploration rovers, to adapt optics and antennae, as well as self-healing materials to repair damaged structures of unmanned vehicles.

Space missions and trajectories design – Missions foreseen for the next decades include interacting multi-module missions — such as planetary bases, solar system sample return, multi-functionality transportation systems, formation flying and constellations — and single-module missions, dedicated to new technology demonstration and advanced payload support in ways that are lighter and more reactive than before. A number of scientific and technological issues clearly arise: because of the heterogeneity of system components, the first class of missions has a strong multidisciplinary nature which must be dealt with in a distributed element scenario. The second class of missions typically requires fine trajectory and attitude design and control to cope with the very challenging constraints coming from either the on-board payload or the embarked new technologies. Moreover, both classes are still affected by the typical hard constraints posed by the space environment, such as reducing overall mass, limiting power demand, surviving in harsh and often unknown environments, as well as containing costs. Within the aforementioned framework, the Department will focus its attention on coordination of distributed multidisciplinary system design and optimization. Trajectory design and control often plays a fundamental role, so attention will also be paid to enhancing analytical solutions for celestial mechanics with a many-body model (R3BP, R4BP), taking into account perturbations and attitude dynamics coupling.

Environmental impact of space missions – While there were only a few dozen rocket flights per year in the entire world in the mid-90s, recent studies forecast that the space tourism market will account for one thousand flights per year in the next decade. Rockets emit more carbon black per unit propellant than aircraft, so they are a threat to global climate equilibrium. Emissions from heavy launchers are injected into all layers of the atmosphere, from the Earth's surface to very high altitudes in the stratosphere. Investigating the impact of launcher plumes on the atmosphere using both computational methods and climate modeling is an extremely challenging research field. In addition, innovative means of propulsion can be used, such as hybrid rockets, which have noticeable advantages in terms of safety, cost, simplicity, performance and reduced pollution. The drawback of hybrid propulsion is its relatively low regression rate, which may be unacceptable for certain mission requirements. The effects of solid fuel additives, fuel mechanical properties, grain geometry and oxidizer injection, to enhance regression rates, need to be investigated in depth to bring this technology to a mature stage.

Space debris avoidance – Continuing space activities leave behind an undesirable byproduct — orbital debris. As of April 2011, a total of more than 22,000 objects were tracked by U.S. Space Surveillance Network (SSN) sensors, the majority of which were larger than 10 cm. This environmental problem is already threatening current and future space activities. It is estimated that the rapid accumulation of space debris caused by further launch activities or chain reaction fragmentation through collisions will jeopardize access to and use of space within one or two decades. In this respect, all launchers and satellites should include their own systems of de-orbiting, so as to quit orbits without leaving any residual debris whatsoever. This demands that launcher upper stages and satellites be provided with an additional propulsive system without penalizing the total vehicle mass. The design of an active de-orbiting onboard system, suitable for all liquid propulsion systems, is under study at the departmental propulsion laboratory in cooperation with several Russian universities.

Innovative and cleaner means of propulsion will be studied to tackle the increasing number of rocket flights in the near future

III. A Commitment to Teaching

The University, while pursuing its primary role of nurturing knowledge, offers willing young people hands-on opportunities to learn about advances in this knowledge. Young people prepare themselves to the duties of human civilization by spending some training time alongside faculty staff. Society — our main stakeholder — knows this process better as the teaching activity of the University.

The Department is committed to contributing to this activity, within the School of Industrial Engineering, to the highest standards and in the most effective manner.

Advancing Engineering Education

Aerospace Engineering has always been a very challenging learning environment, because of the intrinsically multi- and inter-disciplinary problems that need to be considered. Often, this situation has simply turned into the teaching of harder and harder courses. It could

instead be exploited to prepare people for a complex world where each action determines interactions among systems of different kinds. The future of the aerospace job market and the scenario for aircraft and spacecraft in the next 30 years calls for a new way to train aerospace engineers.

A teaching challenge – Lessons and practicals are expected to become formative activities where an academic's research capabilities are exploited to tackle problems, leading of course

to exploration and acquisition of technical knowledge, but in such a way that the primary value transferred is the method, even more than the technical content. Thus, independent life-long learning abilities become the keywords of the educational approach. Examinations will be primarily perceived by students as the verification of their own progress in acquiring expertise in the field, and thereby act as a powerful source of self-motivation. Courses will no longer be conceived as monolithic blocks of knowledge but will be coordinated so as to

develop a scientific and rational approach to problems; they will become a learning environment where aerospace is the battlefield used to train, verify and strengthen abilities and skills and where the multi-disciplinary vision of the world is naturally stimulated by continuous links among disciplines.

This attitude conforms to the best modern educational frameworks adopted worldwide such as the **Conceive–Design–Implement–Operate (CDIO)** initiative, and will lead our school along a road where the ability to apply knowledge in a hugely and rapidly changing operating environment is fundamental.

The Department will act as an incubator where academics with different scientific backgrounds are expected to collaborate in research and teaching duties, and to foster an understanding of discipline interactions and strengthen the capacity to study complex systems and handle complex jobs.

Goal: Close the gap between scientific and practical engineering demands and expose students to a multidisciplinary learning experience

Courses will transform into coordinated activities and will become a learning environment where aerospace is the battlefield used to train, verify and strengthen abilities and skills

Allegato 2 – Keywords

Keywords, from the *ERC panel descriptors*.

PE8 – PRODUCTS AND PROCESSES ENGINEERING

- PE8_1 Aerospace engineering
- PE8_4 Computational engineering
- PE8_5 Fluid mechanics, hydraulic-, turbo-, and piston engines
- PE8_8 Mechanical and manufacturing engineering (shaping, mounting, joining, separation) [1]
- PE8_9 Materials engineering (biomaterials, metals, ceramics, polymers, composites, ...)

PE2 – FUNDAMENTAL CONSTITUENTS OF MATTER

- PE2_5 Gas and plasma physics [5]
- PE2_12 Acoustics [2]
- PE2_18 Statistical physics (gases) [4]

PE3 – CONDENSED MATTER PHYSICS

- PE3_1 Structure of solids and liquids [6]
- PE3_17 Fluid dynamics (physics)
- PE3_19 Phase transitions, phase equilibria [3]

PE6 – COMPUTER SCIENCE AND INFORMATICS

- PE6_12 Scientific computing, simulation and modelling tools