

Bando di concorso per l'ammissione ai corsi di dottorato del XXXVIII ciclo del Politecnico di Bari

Allegato 5

DOTTORATO DI RICERCA IN

INGEGNERIA E SCIENZE AEROSPAZIALI

Corso di Dottorato Interateneo con l'Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Codici identificativi di Progetto (CUP): D93C22000550001; D93D22001360001

SCHEDA DI DOTTORATO XXXVIII CICLO	
DIPARTIMENTO	Dipartimento di Ingegneria Meccanica Matematica e Management
COORDINATORE	Prof. Marco Donato de Tullio (marcodonato.detullio@poliba.it)
POSTI A CONCORSO	13
	di cui
<i>Posti con borsa di studio Poliba</i>	2
<i>Posto con borsa di studio Poliba riservata a laureati in università estera</i>	1
<i>Posti con borsa di studio Uniba</i>	3
<i>Posti con borsa di studio finanziata con fondi PNRR – ex DM 351/2022</i> <u>Vedasi elenco tematiche di ricerca in coda</u>	2 di cui: BORSA N.1 - Ambito: PNRR; Tematica: “Materiali viscoelastici per lo stoccaggio e il trasporto di combustibili verdi (GreenGelFuels)”; BORSA N. 2 - Ambito: PNRR; Tematica: “Specifica e verifica di sistemi software in ambito aerospaziale con metodi formali”.
<i>Posti con borsa di studio finanziata con fondi PNRR – ex DM 352/2022</i> <u>Vedasi elenco tematiche di ricerca in coda</u>	2 di cui: BORSA N.3 - Co-finanziata da: Astradyne s.r.l.; Tematica: “Modelling and design of origami-inspired deployable structures for aerospace applications”; BORSA N. 4 - Co-finanziata da: Thales Alenia Space Italia s.p.a.; Tematica: “Digital Twin di circuiti fotonici integrati”;
<i>Posti senza borsa di studio</i>	3
TITOLO DI ACCESSO RICHIESTO <i>Per l'accesso al Dottorato di ricerca in Ingegneria e Scienze Aerospaziali è richiesto il possesso di un titolo accademico di secondo livello:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Laurea quinquennale conseguita con ordinamento previgente il D.M. 509/99; ➤ Laurea Specialistica (ordinamento D.M. 509/99); ➤ Laurea Magistrale (ordinamento D. M. 270/04); ➤ Titolo accademico conseguito con ordinamento estero di livello corrispondente¹.

¹ L' idoneità del titolo estero che, invece, **non sia già stato dichiarato equipollente** alla laurea, fermo restando la verifica di ufficio della validità amministrativa, viene accertata dalla Commissione giudicatrice del concorso nel rispetto della normativa vigente in Italia e nel Paese dove è stato rilasciato il titolo stesso e dei trattati o accordi internazionali in materia di riconoscimento di titoli per il proseguimento degli studi.

DOMANDA DI AMMISSIONE

Si precisa che quanto previsto nel presente paragrafo integra e non sostituisce gli artt. 2 e 3 del bando di concorso.

DOCUMENTAZIONE OBBLIGATORIA
da allegare obbligatoriamente alla domanda online, **pena l'esclusione dalla procedura concorsuale.**

- **Curriculum vitae et studiorum** secondo il modello predisposto dall'Ateneo, disponibile al link <https://www.poliba.it/it/dottorati-di-ricerca>.

(Denominare il file "01.CV").

- **Documento di riconoscimento in corso di validità.** Si precisa che saranno accettati, pena l'esclusione i seguenti documenti di riconoscimento:
- carta d'identità (solo se rilasciata da uno Stato membro dell'UE);
 - patente di guida (solo se rilasciata da uno Stato membro dell'UE);
 - passaporto in tutti gli altri casi (compresi i cittadini di Stati non aderenti all'UE).

(Denominare il file "02.Documento Riconoscimento").

- **Titoli di laurea triennale e specialistica/magistrale (o quinquennale)** posseduti.

I candidati con titolo di accesso conseguito in Italia devono allegare il modello predisposto dall'Ateneo, (disponibile al link <https://www.poliba.it/it/dottorati-di-ricerca>) specificando le seguenti informazioni:

- voti di laurea;
- elenco degli esami sostenuti nei due corsi di studio (o in quello quinquennale);
- relativa votazione.

(Denominare il file "03.Titoli di Laurea").

I candidati con titolo di accesso conseguito con ordinamento estero devono allegare, in luogo delle autodichiarazioni, i seguenti documenti² redatti dall'istituzione accademica che li ha emessi:

- certificato/diploma di laurea con relativa votazione;
- transcript ufficiale degli esami sostenuti durante l'intero percorso universitario con relativa votazione;
- ogni altro documento ritenuto utile ai fini della dichiarazione di idoneità dei titoli con quelli previsti dal presente bando (Diploma Supplement, dichiarazione di valore in loco).

(Denominare il file "03.Titoli di Laurea").

- **Abstract della tesi di laurea specialistica/magistrale (o quinquennale)**, con indicazione del titolo e del /i relatore/i (max 3.000 caratteri).

² **ATTENZIONE:** Tale documentazione dovrà essere in italiano o in francese o in inglese, ovvero tradotta in italiano o in inglese e legalizzata dalle competenti rappresentanze diplomatiche o consolari italiane, a cura e sotto la responsabilità del candidato, secondo le "Procedure per l'ingresso, il soggiorno e l'immatricolazione degli studenti internazionali, e il relativo riconoscimento dei titoli, per i corsi della formazione superiore in Italia 2022-2023".

	<p><i>(Denominare il file "04.Abstract Tesi").</i></p> <p>➤ Tesi di laurea specialistica/magistrale (o quinquennale).</p> <p>In caso di candidati laureandi, ai sensi dell'art. 2, allegare l'elaborato di tesi svolto sino alla data di presentazione della domanda, con indicazione del titolo e del relatore. ATTENZIONE: si intende la dissertazione scritta di tesi eseguita dal candidato laureando sino alla data di presentazione della domanda di ammissione al presente concorso, che, in termini di capitoli o di pagine, consenta un'utile valutazione del relativo contenuto/argomento alla Commissione giudicatrice. In nessun caso la sintesi dell'argomento di tesi (abstract) sarà considerato elaborato di tesi.</p> <p><i>(Denominare il file "05.Tesi").</i></p> <p>➤ Proposta di Ricerca che si intende sviluppare nel Corso di Dottorato e che riporti la base di partenza scientifica della proposta, gli obiettivi della ricerca, le metodologie che si intendono adottare (max 9.000 caratteri). La proposta di ricerca sarà esaminata esclusivamente ai fini dell'ammissione e non prefigura necessariamente l'attività di ricerca che il dottorando dovrà effettuare durante il suo percorso formativo.</p> <p>Per la presentazione della proposta di ricerca è obbligatorio utilizzare il format predisposto (denominato "ALLEGATO E_FORMAT PROPOSTA DI RICERCA_DRISA" presente al link https://www.poliba.it/sites/default/files/dottorati/allegato_e_format_proposta_di_ricerca_drisa_0.docx).</p> <p>ATTENZIONE: Qualora si volesse proporre un progetto di ricerca in linea con le tematiche ai sensi DD.MM. 351/2022 e 352/2022, è necessario che la proposta di ricerca sia redatta in coerenza con una o più tematiche indicate all'elenco in coda.</p> <p><i>(Denominare il file "06.Proposta di Ricerca").</i></p>
DOCUMENTAZIONE NON OBBLIGATORIA	<p>➤ Dichiarazione sostitutiva degli eventuali altri titoli in possesso ai fini della valutazione, datata e sottoscritta (modello disponibile al link https://www.poliba.it/it/dottorati-di-ricerca), resa ai sensi degli artt. 46 e 47 del D.P.R. 445/2000.</p> <p><i>(Denominare il file "07.Dichiarazione altri titoli").</i></p> <p>➤ Una o due lettere di presentazione di docenti che abbiano seguito il percorso formativo del candidato negli studi universitari.</p> <p><i>(Denominare il file "08.Lettera presentazione 1", "08. Lettera presentazione 2").</i></p> <p>➤ Eventuali certificazioni linguistiche, idonee all'accertamento della conoscenza della lingua inglese con livello pari almeno al</p>

	<p>B2. I soli candidati con cittadinanza non italiana potranno allegare in questa sezione la certificazione linguistica per l'accertamento della lingua italiana.</p> <p><i>(Denominare il file "09.Certificazione linguistica 1"; etc).</i></p> <p>➤ Eventuali pubblicazioni relative all'attività svolta e riportate nel Curriculum. Tale documentazione dovrà essere in italiano o in inglese, ovvero tradotta in italiano o in inglese a cura e sotto la responsabilità del candidato.</p> <p>Nel caso di pubblicazioni voluminose non disponibili in formato elettronico o che eccedano i MB consentiti, il candidato potrà presentarle separatamente, in formato cartaceo o su supporto elettronico (CD o DVd_ROM) corredate da un elenco, entro le ore 14:00 del giorno di scadenza di presentazione delle domande di ammissione al concorso.</p> <p>La presentazione delle pubblicazioni in modalità cartacea o su supporto elettronico potrà avvenire con invio di plico, idoneamente chiuso e controfirmato sui lembi di chiusura, a mezzo di servizio postale, corriere privato o agenzia di recapito, al seguente indirizzo: Magnifico Rettore del Politecnico di Bari – Direzione Gestione Risorse e Servizi Istituzionali- Settore Ricerca, Relazioni Internazionali e Post-Lauream - Ufficio Protocollo – Via Amendola 126/B, 70126 BARI. Sul plico dovranno essere riportati, il nome e il cognome del candidato e la dicitura: "Concorso di ammissione al Corso di Dottorato in [identificazione del Dottorato]". Il recapito in tempo utile del plico con le pubblicazioni, mediante servizio postale, corriere privato, agenzia di recapito, presso l'Ateneo è ad esclusivo rischio del candidato.</p> <p><i>(Denominare il file "10.Pubblicazione 1"; etc).</i></p>
RIEPILOGO DOCUMENTAZIONE	<p><u>Documenti obbligatori:</u></p> <p>➤ Curriculum vitae et studiorum – obbligatorio <i>(denominare il file "01.CV");</i></p> <p>➤ Documento di riconoscimento in corso di validità – obbligatorio <i>(denominare il file "02.Documento Riconoscimento");</i></p> <p>➤ Titoli di laurea triennale e specialistica/magistrale (o quinquennale) – obbligatorio <i>(denominare il file "03.Titoli di Laurea");</i></p> <p>➤ Abstract della tesi di laurea specialistica/magistrale (o quinquennale) – obbligatorio <i>(denominare il file "04.Abstract Tesi");</i></p> <p>➤ Tesi di laurea specialistica/magistrale (o quinquennale) – obbligatorio <i>(denominare il file "05.Tesi");</i></p> <p>➤ Proposta di Ricerca <i>(denominare il file "06.Proposta di Ricerca").</i></p>

	<p>Documenti non obbligatori:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Dichiarazione sostitutiva degli eventuali altri titoli in possesso – non obbligatoria (<i>denominare il file “07.Dichiarazione altri titoli”</i>); ➤ Una o due lettere di presentazione di docenti – non obbligatoria (<i>denominare il file “08.Lettera presentazione 1”, “08. Lettera presentazione 2”</i>); ➤ Eventuali certificazioni linguistiche – non obbligatoria (<i>denominare il file “09.Certificazione linguistica 1”; etc</i>); ➤ Eventuali pubblicazioni – non obbligatoria (<i>denominare il file “10.Pubblicazione 1”; etc</i>).
--	---

PROVE DI CONCORSO	
1. VALUTAZIONE DEI TITOLI POSSEDUTI	Valutazione dei titoli posseduti (media esami, voto di laurea, tesi di laurea, Master, Corsi di specializzazione, Corsi di perfezionamento, certificati linguistici, pubblicazioni, ecc.).
2. VALUTAZIONE PROPOSTA DI RICERCA	
3. COLLOQUIO	Il colloquio sarà volto a garantire un’idonea valutazione comparativa dei candidati e finalizzata alla verifica dell’attitudine alla ricerca, della disponibilità a svolgere esperienza all’estero e degli interessi scientifici del candidato.
DATE DELLE PROVE DI CONCORSO	Martedì 20 settembre 2022; Mercoledì 21 settembre 2022; Giovedì 22 settembre 2022; Venerdì 23 settembre 2022.
<p>La Commissione dispone, per la valutazione dei titoli e per gli esami di ciascun candidato, di un totale di 100 punti (20 per i titoli, 20 per la proposta di ricerca e 60 per il colloquio). Una valutazione titoli con punteggio inferiore a 10 punti non darà accesso alla fase di valutazione successiva (proposta di ricerca). La valutazione della proposta di ricerca si intende superata con un punteggio minimo pari a 10. Il colloquio si intende superato con un punteggio minimo pari a 30.</p> <p>Il punteggio minimo totale per l’idoneità al concorso è quindi pari a 50.</p> <p>L’esito della valutazione dei titoli e del progetto sarà reso noto sul portale ESSE3, nell’area personale di ciascun candidato. Nessuna comunicazione sarà pertanto inviata ai candidati.</p> <p>Al termine degli esami, la Commissione procede alla valutazione complessiva e compila la graduatoria di merito sulla base dei punteggi ottenuti dai candidati nelle singole prove.</p> <p>I criteri di valutazione dei titoli saranno stabiliti dalle singole Commissioni.</p>	

SEGUE ELENCO TEMATICHE DI RICERCA

BORSA N.1 DRISA

D.M. 351/2022

Ambito: PNRR

Tematica: “Materiali viscoelastici per lo stoccaggio e il trasporto di combustibili verdi (GreenGelFuels)”

RICERCA PROPOSTA:

I combustibili gel sono attualmente costituiti sia da un alcol che da un etere di cellulosa utilizzato come addensante. Il risultato è un combustibile in gel che brucia in modo pulito, genera pochissima fuliggine, è praticamente senza fumo e limita la produzione di sottoprodotti di combustione dannosi. Inoltre dal punto di vista propulsivo, la struttura di tipo viscoelastico dei gel, consente la sospensione di particelle metalliche aumentando così sia l'impulso specifico che la densità di energia. Inoltre, le proprietà viscoelastiche hanno il vantaggio di ridurre possibile fuoriuscite accidentali, aumentando così la sicurezza. I propellenti in gel possono mostrare sia shear-thinning che shear-thickening. [1] Generalmente la viscosità apparente del gel aumenta con l'aggiunta degli agenti gelificanti che rendono il carburante più difficile da atomizzare e più difficile raggiungere un'elevata efficienza di combustione. Per quanto riguarda le caratteristiche di combustione dei gel si sa molto poco e i fenomeni coinvolti non sono stati ancora completamente compresi. [2]

L'aggiunta degli agenti gelificanti può influenzare la combustione in vari modi: (i) la temperatura di fusione del gel aumenta con la concentrazione dell'agente gelificante; (ii) il calore di gelificazione varia con la concentrazione del tipo di carburante nel sistema gelificante. [1] Di conseguenza, dovrebbe essere influenzato anche il calore di vaporizzazione, che nella combustione delle goccioline è un parametro piuttosto significativo, tuttavia non si conoscono gli effetti del contenuto e della tipologia di gelificante sul suo valore finale. In questo progetto di ricerca si svilupperanno delle matrici viscoelastiche (gel) utilizzando materiali verdi, quali cellulosa, liquidi ionici e/o polimeri biocompatibili per realizzare sistemi di intrappolamento di carburanti sostenibili (quali alcool) ad alta efficienza.

I combustibili verdi che verranno esaminati sono di tipo biodiesel, cioè un combustibile rinnovabile e biodegradabile prodotto internamente da oli vegetali, grassi animali o grasso riciclato. Il biodiesel è sia un diesel a base di biomassa che un combustibile rinnovabile. Il diesel rinnovabile, viene chiamato comunemente "diesel verde" o "green diesel". Il diesel verde, uno dei prodotti energetici alternativi, è una seconda generazione di biocarburante, che ha una struttura molecolare simile al diesel di petrolio ma fornisce migliori proprietà. Il green diesel viene prodotto per idrotrattamento di trigliceridi in oli vegetali con idrogeno [3]. L'azienda Boeing sta cercando l'approvazione per utilizzare una miscela di diesel verde come alternativa al Jet-A per gli aerei a turbina.

In questo progetto l'effetto di diversi green diesel verrà testato sulle opportune matrici viscoelastiche, cioè gel, in modo da ottenere un sistema con caratteristiche performanti sia dal punto di vista meccanico che da quello combustivo (GreenGelFuels).

La rigidità di un gel è dovuto alla presenza di una rete formata dall'interconnessione di strutture particellari. La natura delle particelle e il tipo di forza sono responsabile dell'interconnessione e determinano le proprietà del gel. Nel caso delle particelle colloidali idrofobe, queste possono essere di forma quasi-sferica o essere aggregati isometrici, i quali, interagendo tra loro, costituiscono il gel [4]. Nelle macromolecole lineari (polimeri) la rete è costituita dall'intersecarsi delle stesse macromolecole, i punti di contatto, entanglements, tra esse possono essere relativamente piccoli o essere costituiti da più molecole allineate in ordine cristallino. Le catene polimeriche possono formare entanglements per mezzo di un legame covalente, ad esempio una rete formata reticolando catene polimeriche o mediante polimerizzazione non lineare. Alternativamente gli

entanglements possono essere dovuti all'aggregazione fisica di catene polimeriche, causata da legami idrogeno, cristallizzazione, formazione di eliche, complessazione, ecc.. La rete gonfia risultante può essere definita un "gel termoreversibile" se gli entanglements sono termicamente reversibili.[5,6]

Attualmente il mio gruppo di ricerca dispone di un reometro rotazionale stress-controllato in grado di caratterizzare le performance meccaniche, cioè le caratteristiche viscoelastiche, di sistemi gel. Inoltre presso il dipartimento di chimica sono disponibili strumenti per la determinazione del calore di combustione quali la analisi termogravimetria (TGA) e scansione differenziale calorimetrica (DSC). Il GreenGelFuels può essere riscaldato in aria o ossigeno a pressione normale fino a 900 °C e mantenuto isotermico fino a quando la variazione di peso dovuta alla perdita dei gas di combustione non si interrompe e la produzione di calore non è terminata. Le fasi di perdita di peso permette di verificare la presenza altri processi oltre alla combustione, ad esempio la vaporizzazione, e se nel materiale sono presenti costituenti come umidità e cenere. La misura esotermica DSC della combustione può quindi essere correlata a specifiche perdite di peso.

Per poter caratterizzare la struttura del gel dal punto di vista supramolecolare si farà affidamento su collaborazione esterne (periodo all'estero del dottorando) e a large-scale facilities. L'approccio per la caratterizzazione strutturale potrà avvenire sia tramite l'utilizzo di tecniche microscopiche che tecniche basate sullo scattering a raggi X, Neutroni o di luce.

Dal punto di vista operativo il dottorando verrà inquadrato all'interno del Dottorato di Ricerca in Ingegneria e Scienze Aerospaziali (DRISA) programma di dottorato interuniversitario che coinvolge il Politecnico di Bari e L'università di Bari Aldo Moro. Gli stage del programma di ricerca sono i seguenti:

1. Formulazione dei sistemi viscoelastici contenenti green diesel.

Il dottorando inizierà il suo lavoro di ricerca con la preparazione di diversi tipi di gel a base cellulosa, metilcellulosa e/o co-polimeri a blocchi caricati con green diesel provenienti da diverse sorgenti rinnovabili o di riciclo.

2. Caratterizzazione meccanica dei sistemi gel

I sistemi gel ottenuti verranno caratterizzati dal punto di vista meccanico [7]: (i) classificando i gel come dilatanti (shear-thickening), yield-pseudoplastici, pseudoplastici o tipo Bingham plastic (shear-thinning) in base alle rispettive curve di flusso ottenute da esperimenti stazionari; (ii) misure oscillatorie per determinare la variazione del modulo elastico rispetto al caricamento del green diesel. Il proponente (prof. Luigi Gentile) è un esperto nella caratterizzazione reologica con oltre 20 articoli e due capitoli di libro sul tema.

3. Determinazione delle proprietà combustive e di eventuali residui di combustione

Ciascuno dei sistemi gel preparati sarà successivamente caratterizzato in termini di prestazioni del combustibile e rilascio di residui tramite DSC e TGA. L'eventuale residuo verrà analizzato tramite FT-ATIR, NMR e altre tecniche di analisi per determinare la presenza di eventuale materiale non-ecosostenibile.

4. Caratterizzazione strutturale dei sistemi gel

Infine il dottorando porterà avanti la caratterizzazione strutturale durante il periodo all'estero. Valutare la struttura dei gel polimerici è necessaria un'analisi strutturale a livello molecolare e supra-molecolare. È noto che vari gel fisici da soluzioni polimeriche semicristalline formano un posizionamento di ordine superiore ad una catena polimerica. Inoltre, nel processo di ordinamento dei polimeri, come la gelificazione o la cristallizzazione, l'ordinamento della conformazione molecolare è fondamentale. La microscopia è uno dei metodi più utili per acquisire conoscenze su questi processi. In termini complementari lo scattering può essere utile a determinare la mesh-size dei sistemi gel. Anche l'interazione tra il polimero e il solvente nel processo di formazione del gel è un problema importante, tuttavia si possono anche ottenere informazioni anche su questa interazione.

Ambiti PNRR: Clima, energia e mobilità sostenibile. Scenari energetici del futuro. Altri: Attività spaziali.

[1] G. Nachmoni and B. Natan, *Combustion Science and Technology*, 156, 2000, 139-157.

[2] Y. Solomon, B. Natan, Y. Cohen, *Combustion and Flame*, 156, 2009, 261-268.

[3] M. Fahmi Othman, A. Adam, G. Najafi, R. Mamat, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 2017, 694-709.

[4] L. Gentile, G. De Luca, F. E Antunes, C. Oliviero Rossi, G. A. Ranieri, *Applied Rheology*, 20, 2010, 52081.

- [5] RG Jones, J Kahovec, R Stepto, ES Wilks, M Hess, T Kitayama, WV Metanovski, IUPAC Recommendations 2008. RSC Publishing, Cambridge, UK.
- [6] S Slomkowski, JV Alemán, RG Gilbert, M Hess, K Horie, RG Jones, et al., Pure and Applied Chemistry. 83 (12): 2229–2259.
- [7] L Gentile, S Amin, Chapter 11 in Colloidal Foundations of Nanoscience (Second Edition), Elsevier, 2022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822089-4.00003-9>.

BORSA N. 2 DRISA

D.M. 351/2022

Ambito: PNRR

Tematica: “Specifica e verifica di sistemi software in ambito aerospaziale con metodi formali”

RICERCA PROPOSTA:

Contesto di riferimento

I metodi formali rappresentano un insieme vasto di tecniche matematicamente rigorose per la specifica, lo sviluppo e la verifica di sistemi software e hardware. Esse includono fondamenti di Informatica come il calcolo logico e simbolico, i linguaggi formali, la teoria degli automi e la semantica dei programmi. L'impiego di metodi formali nelle attività inerenti alla progettazione dei sistemi è motivato dall'assunzione che, analogamente a quanto avviene in altre discipline ingegneristiche, l'analisi logico-matematica delle proprietà dei sistemi contribuisca a rendere la progettazione più robusta e affidabile, soprattutto per quei sistemi cosiddetti critici che sono tipici, ad esempio, del dominio aerospaziale. Non è infatti un caso che questi metodi siano stati storicamente introdotti nell'ambito dell'Ingegneria del Software, una specializzazione ingegneristica dell'Informatica nata alla fine degli anni '60 in occasione delle missioni spaziali dell'Apollo 11.

Tema di ricerca

Come già menzionato, i metodi formali si applicano a problemi di specifica, sviluppo e verifica di sistemi software e hardware.

In questo progetto di ricerca ci limiteremo ai soli sistemi software, considerando in particolare il caso di sistemi “security-critical” che incorporano componenti “intelligenti”, ovvero componenti basate sull'applicazione di tecniche di Intelligenza Artificiale (IA). Le vulnerabilità di questi sistemi, rese particolarmente critiche dal potenziale dirompente dell'IA, saranno analizzate con riferimento ad alcuni scenari reali o realistici, di interesse per l'ambito aerospaziale. Contestualmente, si passeranno in rassegna alcuni metodi formali adatti a specificare e/o a verificare la robustezza di questi sistemi dal punto di vista della sicurezza. Essendo molto vasta la scelta, si prevede di restringere la ricerca a quelli basati sul calcolo logico e simbolico, per poter fare leva sulle radici comuni fra la Logica Computazionale e l'IA cosiddetta simbolica. Tale affinità abilita infatti l'applicazione di una ampia gamma di tecniche, metodi, e strumenti, per la modellazione di sistemi (con o senza moduli di IA) e per la verifica di aderenza del modello ad una certa proprietà. In particolare, la verifica può essere formulata come un problema di soddisfacimento di vincoli, ed essere implementato seguendo l'approccio tipico della Logica Computazionale che prevede l'uso di un risolutore (*solver*) basato su algoritmi di dimostrazione automatica di teoremi. Fra le varie alternative spicca *Answer Set Programming (ASP)*, uno delle evoluzioni più recenti e promettenti della Logica Computazionale, che mette a disposizione risolutori automatici efficienti per problemi modellati in maniera dichiarativa (*declarative problem solving*). Questa caratteristica consente di astrarre dai dettagli procedurali del sistema che si sta modellando, ovvero di focalizzare l'attenzione sul cosa deve fare il sistema piuttosto che sul come lo deve fare.

Il progetto si presenta quindi come una interessante e sfidante combinazione di ricerca, non necessariamente solo applicata, a cavallo fra (metodi formali per la) Ingegneria del Software,

Intelligenza Artificiale, e Cybersecurity, con dominio applicativo di elezione l'Aerospazio. Sono questi ambiti strategici per lo sviluppo scientifico e tecnologico del Paese, e pertanto la proposta di progetto si può considerare rilevante ai fini del PNRR. L'aspetto innovativo della ricerca è l'uso di metodi formali rinvenienti dalla Logica Computazionale.

Obiettivi formativi/professionalizzanti

Il progetto mira a formare ricercatori e professionisti altamente qualificati in grado di affrontare problemi informatici molto complessi e definire soluzioni altamente affidabili, soprattutto in termini di sicurezza. Questi problemi compaiono nei settori tecnologici avanzati che progettano o mantengono il software non solo nell'industria aerospaziale ma anche in altri campi quali telecomunicazioni, trasporto aereo, reti metropolitane, trasporto ferroviario ad alta velocità, industria automobilistica, reti di approvvigionamento energetico, ecc. Inoltre, temi come la sicurezza risultano trasversali a tutti questi campi e rappresentano le varie sfide nel panorama attuale.

Opportunità di collaborazione nazionale ed internazionale

La proponente del progetto svolge attività di ricerca di base ed applicata da più di 20 anni in Intelligenza Artificiale ed in Logica Computazionale, e risulta ben inserita nelle comunità di riferimento per questi due settori sia a livello nazionale che a livello internazionale (organizzazione di conferenze di settore, partecipazione agli organi direttivi di associazioni scientifiche di settore, etc.). In particolare, è membro eletto del Direttivo della Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale dal 2013. Insegna metodi formali per la sicurezza presso la Laurea Magistrale in Sicurezza Informatica nella sede di Taranto dell'Università di Bari. Fa parte del Collegio dei Docenti del Dottorato di Ricerca in Ingegneria e Scienze Aerospaziali, consorziato fra Politecnico di Bari ed Università di Bari. Ha contatti con un centro estero di ricerca su ingegneria dei sistemi aerospaziali specializzato in sicurezza ed affidabilità.

BORSA N.3 DRISA

D.M. 352/2022

Co-finanziata da: Astradyne s.r.l..

Tematica: “Modelling and design of origami-inspired deployable structures for aerospace applications”

RICERCA PROPOSTA:

La struttura deployable (dispiegabile) è costituita dalla combinazione di unità strutturali di base, come aste, cavi e membrane. Poiché la struttura dispiegabile nello spazio ha la capacità di realizzare la transizione da uno stato strettamente ripiegato a uno stato dispiegato controllabile, sta diventando il mezzo principale per risolvere la contraddizione tra le grandi strutture dei veicoli spaziali e il volume dell'involucro dei lanciatori spaziali. Strutture dispiegabili su larga scala, leggere e di alta precisione sono state ampiamente richieste nei campi delle esplorazioni dello spazio profondo/lunare, delle osservazioni astronomiche/della terra ad alta risoluzione e delle centrali solari spaziali.

Per soddisfare le esigenze di prestazioni di uno spazio leggero e ad alta precisione su larga scala, le strutture dispiegabili devono affrontare alcune nuove sfide tecniche negli aspetti di progettazione, analisi e misurazione. Una sfida tecnica è la progettazione di nuove forme strutturali dispiegabili per ridurre il peso totale, che di solito è accompagnato da nuovi metodi di progettazione e modellazione dei meccanismi, nonché dall'applicazione di nuovi materiali. In quanto spazio su larga scala, le strutture dispiegabili hanno le caratteristiche di non linearità ampie, flessibili e forti, dispiegamento affidabile e ritenzione di alta precisione in ambienti spaziali complessi sono altre sfide tecniche. Le soluzioni di queste sfide tecniche richiedono di proporre una serie di metodi speciali di analisi, misurazione, controllo delle vibrazioni e così via. Inoltre, la tecnologia di assemblaggio in orbita emergente comporterà alcune sfide tecniche aggiuntive oltre alle sfide sopra menzionate.

Contributi e review originali che forniscono informazioni sull'uso di tecniche e metodi per la progettazione di meccanismi dispiegabili, analisi strutturale in ambienti spaziali, dinamica di dispiegamento, controllo delle vibrazioni strutturali, progettazione e analisi dell'affidabilità, assemblaggio in orbita, controllo termico, verifica delle prestazioni e sperimentazione a terra, la misurazione della forma e l'applicazione di nuovi materiali sono disponibili in letteratura. Sono fortemente incoraggiati i confronti con esperimenti/test condotti dagli autori o da altri per validare il contributo principale dell'articolo.

I potenziali argomenti includono ma non sono limitati a quanto segue:

- Design and analysis of deployable mechanisms
- Performance optimization of deployable structures
- Deployment dynamics of deployable structures, such as space deployable antennas, solar array, membranes

- Passive and active control methods in structural vibration
- Reliability analysis for the deployment and structural performance
- In-orbit assembly methods, including module design, interface design, assembly sequence planning, and control methods
- Thermal control of deployable structures
- Static and dynamic analysis of deployable structures
- Testing methods on the ground, such as gravity unloading, gravity compensation, thermal test
- In-orbit measurement methods for static surface/shape and dynamic responses of deployable structures

BORSA N. 4 DRISA
D.M. 352/2022
Co-finanziata da: Thales Alenia Space Italia s.p.a.
Tematica: “Digital Twin di circuiti fotonici integrati”

a) Tema della ricerca e coerenza con la Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI) approvata dalla Commissione europea

La ricerca ha come obiettivo lo sviluppo di nuovi approcci di progettazione per la realizzazione di circuiti fotonici integrati ad elevate prestazioni, secondo il paradigma dei *digital twin*, per lo sviluppo di sistemi di nuova generazione per l'ambito Spazio. La proposta è pienamente in linea con le aree tematiche SNSI *Industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente* (tematiche: *Processi produttivi innovativi ad alta efficienza e per la sostenibilità industriale, Sistemi produttivi evolutivi per la produzione personalizzata*) e *Aerospazio e difesa* (tematica: *Avionica avanzata nel campo dei network di moduli hw e dell'interfaccia uomo-macchina, Sistemi per l'osservazione della terra, nel campo delle missioni, degli strumenti e della elaborazione dei dati*), nonché con l'obiettivo di sviluppo di tecnologie abilitanti quali *Fotonica e Micro/Nanoelettronica, Materiali Avanzati e Nanotecnologia e Sistemi Avanzati di Produzione*.

b) Attività di ricerca proposta, metodologie e contenuti

Un sistema *digital twin* è una replica virtuale di un sistema complesso sviluppato per aiutare a gestire prestazioni, produzione e costi. Tale replica è alimentata da programmi adeguati che utilizzano i dati del mondo reale per modellare un prodotto e produrre un'uscita digitale che imita il comportamento fisico di quell'oggetto. Nel 2017, Gartner Inc. ha inserito i *digital twin* tra le prime 10 tendenze tecnologiche a carattere strategico e ha previsto che miliardi di sistemi avrebbero avuto *digital twin* nel decennio successivo. Da allora, il mercato relativo è cresciuto in modo esponenziale con un CAGR annuale superiore al 30% avvicinandosi a 10 miliardi di dollari nel 2021. I *digital twin* sono attualmente utilizzati in numerosi domini, da progetti di grandi dimensioni fisiche come edifici e produzione di aeromobili alla produzione e ingegneria adattiva. Parallelamente, c'è una tendenza a spostare il concetto di *digital twin* a sottosistemi o componenti complessi che possono rappresentare elementi critici di sistemi più grandi con la necessità crescente che i *digital twin* siano sempre più precisi e vicini alla realtà. Ad esempio, nell'ambito dell'elettronica i *digital twin* devono fornire una rappresentazione onnicomprensiva delle variabili e del comportamento dei componenti, diventando uno strumento importante nella progettazione di chip di complessità crescente in cui lo sviluppo di modelli “rapidi” e fedeli, unitamente ad una migliore comunicazione lungo tutta la catena di approvvigionamento, accelerando anche il *time-to-market*. Seguendo questa tendenza globale, l'impatto dei *digital twin* su ottica e fotonica è in continua crescita e sta portando ad un cambio di paradigma nell'ideazione e progettazione di circuiti e sistemi fotonici.

L'attività di ricerca proposta si colloca in questo ambito specifico di applicazione dei *digital twin*, con l'ambizione di fornire un contributo rilevante al suo sviluppo. In particolare, la ricerca sarà focalizzata sullo sviluppo di *digital twin* di sistemi fotonici per uso spaziale (sottosistemi e payload ritenuti di rilevanza strategica) con l'aspetto particolarmente innovativo di partire dalla caratterizzazione e conoscenza dei processi di fonderia per i principali sistemi materiali in uso per la realizzazione di dispositivi e circuiti fotonici, consentendone una progettazione *smart* e adattiva e una conseguente

valutazione predittiva del comportamento dei sistemi che tenga conto anche delle stringenti condizioni operative e ambientali imposte dallo Spazio.

a) Grado di innovazione della ricerca proposta per il settore di intervento

Il ricorso a simulazioni è ben noto nel campo dell'ingegneria e, quindi, anche di quella elettronica e fotonica. Vari approcci di simulazione, potenti ma spesso specializzati, possono essere utilizzati per indagare con successo problemi specifici e guidare la progettazione di sistemi fotonici di complessità crescente. Tuttavia, quando l'ottica è rivolta all'ingegneria dei processi, questa metodologia di simulazione "classica" si traduce in un processo discontinuo, dispendioso in termini di tempo, costoso e soggetto ad errori e condizioni specifiche. Quando si sviluppano sistemi complessi, costituiti da una varietà di dispositivi e sottosistemi è necessario non dimenticare il quadro generale e da ciò deriva una nuova tendenza ad utilizzare la tecnologia di simulazione all'interno del sistema reale giungendo a sviluppare "modelli mentali", che rappresentano una base per lo sviluppo di sistemi consapevoli e intelligenti. Rispetto agli approcci di simulazione e progettazione "classici", ricorrere a *digital twin* che tengano conto delle caratteristiche reali sia del processo produttivo di componenti e sistemi, sia delle specifiche condizioni ambientali cambia drasticamente il punto di vista sulla tecnologia di simulazione, con la richiesta di combinare e scambiare in modo flessibile aspetti diversi tra dimensioni diverse, con il risultato multiplo di ridurre notevolmente gli sforzi (tempi, costi, perdita di dati, errori) per la creazione di un'applicazione di simulazione, di utilizzare diverse applicazioni di simulazione (o parti di esse), di cambiare rapidamente tra diverse applicazioni, di sviluppare applicazioni di simulazione che finora non possono essere realizzate in un modo completo.

d) Coerenza del tema di ricerca con l'ambito disciplinare del dottorato e con la composizione del Collegio dei docenti

Il tema di ricerca proposto è pienamente coerente con l'ambito disciplinare e le finalità del dottorato che mira a formare, anche attraverso un'eterogenea composizione del Collegio dei docenti, esperti di elevato profilo scientifico in grado di operare in ambito aerospaziale, su sistemi ad elevata complessità, con forti interazioni tra aspetti scientifici, tecnologici, economici e sociali, attraverso l'articolazione in tre ambiti culturali interconnessi quali l'Ingegneria Aerospaziale (tematiche "classiche" fra cui studio delle strutture aerospaziali, fluidodinamica, meccanica del volo e propulsione aerospaziale), i Sistemi per l'Aerospazio (tecnologie dell'informazione connesse alla realizzazione di nuovi velivoli e nuove missioni spaziali, le Scienze per l'Aerospazio tematiche di fisica sperimentale della radiazione cosmica, delle alte energie, materiali e sensori innovativi, chimica-fisica dei plasmi, nonché tematiche di natura gestionale e *space economy*).

Tra i settori scientifico-disciplinari coerenti con gli obiettivi formativi del corso di Dottorato in Ingegneria e Scienze Aerospaziali del Politecnico di Bari vi è ING-INF/01 - Elettronica. L'optoelettronica e la fotonica ricadono pienamente tra le tematiche di ricerca di detto SSD, che è fortemente interessato alle applicazioni dei dispositivi e dei sistemi microelettronici, nanoelettronici, micro-elettro-meccanici, optoelettronici e fotonici allo Spazio. Pertanto la fotonica per lo Spazio rientra a pieno titolo nell'ambito disciplinare del Dottorato.

e) Fattibilità tecnica della proposta e cronoprogramma di attuazione

La ricerca sarà svolta in collaborazione con il gruppo di ricerca del dottor Georg Pucker (Fondazione Bruno Kessler, FBK, Trento), quello del Professor Williams (Università Tecnica di Eindhoven) e con Thales Alenia Space Italia. Il dottor Pucker è il responsabile dell'unità di ricerca su *Advanced Materials and Photonic*

Structures del *Center of Materials and Microsystems* di FBK e vanta una consolidata esperienza sullo sviluppo di processi tecnologici in silicio (Si) e sul progetto di dispositivi fotonici integrati. Il prof. Kevin Williams è professore ordinario e responsabile del gruppo di ricerca sull'integrazione fotonica della *Eindhoven University of Technology*. I suoi principali campi di competenza includono i circuiti integrati fotonici, in fosforo d'indio (InP) e in tecnologia ibrida InP-Si. Da oltre 40 anni Thales Alenia Space progetta, integra, testa e gestisce sistemi spaziali innovativi ad alta tecnologia per telecomunicazioni, navigazione, osservazione della Terra, gestione ambientale, ricerca scientifica e infrastrutture orbitali. Grazie al know-how molto avanzato in missioni a uso duale civile/militare, costellazioni satellitari, payload flessibili, altimetria, meteorologia, e strumentazione radar e ad alta risoluzione ottica, Thales Alenia Space si pone come azienda leader nel panorama internazionale del settore di riferimento.

Il Politecnico di Bari (gruppo di ricerca della prof.ssa Ciminelli) ha una collaborazione pluriennale e ben strutturata con i gruppi di ricerca e l'impresa coinvolta, grazie anche allo svolgimento di precedenti progetti di ricerca, a beneficio della fattibilità tecnica dell'iniziativa.

La ricerca sarà organizzata in accordo ai seguenti passi:

Review sui temi di ricerca (da mese 1 a mese 8)

Proposizione del *framework* teorico (da mese 6 a mese 33)

Sviluppo di dimostratori a sostegno del *framework* proposto (da mese 8 a mese 33)

Validazione e revisione del *framework* attraverso casi di studio reali (da mese 18 a mese 35)

Redazione Tesi di Dottorato (da mese 31 a mese 36)

Si ritiene che la permanenza presso *Eindhoven University of Technology* possa svolgersi nel corso del secondo anno di dottorato (per una durata di 6 mesi) e la permanenza presso l'impresa Thales Alenia Space in parte nel corso del primo, del secondo e ancora del terzo anno (per una durata totale di 18 mesi).

La collaborazione e interazione con la *Eindhoven University of Technology*, con Thales Alenia Space e, anche con la Fondazione Bruno Kessler si estenderà in ogni caso per tutta la durata del dottorato.

f) Sinergie rispetto all'eventuale successivo impiego dei dottori di ricerca (in rapporto al mondo del lavoro)

Le conoscenze acquisite durante il percorso di dottorato sui temi del *Digital Twin* e delle tecnologie fotoniche, che come già esplicitato impattano numerose aree di competenza, sono di alto pregio e rilevanza per figure professionali ad elevata specializzazione già fortemente richieste dal mercato del lavoro. Le competenze sviluppate potranno trovare applicazione non solo nel dominio Spazio, ma sono trasversali e applicabili con successo in molti ambiti della Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente.