



da inviare via mail a bandopondottorati@uniroma2.it entro il 25/09/2021

Richiesta per borsa di studio da attivare ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Il sottoscritto Fabio Curti, qualifica Professore Associato, afferente alla Scuola di Ingegneria Aerospaziale di Sapienza Università di Roma, tel. 0649919775, email: fabio.curti@uniroma1.it

CHIEDE

L'attivazione di una borsa di studio di dottorato ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021. A tal fine comunica quanto segue:

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo: **Astronomy, Astrophysics and Space Science**, in convenzione tra Sapienza e Tor Vergata, insieme all'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF).

Area per la quale si presenta la richiesta (selezionare solo una delle due):

Innovazione

Green

Tipologia di cofinanziamento (pari ad euro 8000 una tantum):

Nome dell'Ente finanziatore pubblico o privato: _____

Persona di Riferimento: _____ Telefono _____

Email _____

Fondi di ricerca dipartimentali

Titolo del Progetto di Ricerca:

Intelligenza Artificiale applicata alla Sorveglianza Spaziale e Gestione del Traffico Spaziale

Descrizione del Progetto:

Il progetto si inquadra nell'ambito delle tematiche di crescente interesse nelle scienze spaziali che riguarda lo Space Situational Awareness (SSA), con riferimento allo Space Surveillance and Tracking (SST) e allo Space Traffic Management (STM). Poiché un numero sempre maggiore di veicoli spaziali utilizza lo spazio in regimi orbitali sempre più densi, diventa necessario un maggiore coordinamento e tracciamento di veicoli spaziali in modo da operare in sicurezza evitando collisioni, per ridurre la popolazione dei debris, e interferenze a radiofrequenza. Più propriamente legato alla sorveglianza spaziale è l'osservazione e il tracciamento dei NEO (Near Earth Objects) per potenziali rischi di impatto con la Terra. Attualmente la popolazione scoperta di NEO ammonta a circa 25000 oggetti, con 115 casi di allarme di rischio di impatto con la Terra, e circa 1190 NEA (Near Earth Asteroids) inclusi nella lista di rischio impatto.



La presente ricerca si focalizzerà sullo studio di un sistema spaziale costituito da una costellazione di sensori ottici orbitati dedicati a SSA/SST/STM da integrare alla rete di sensori di terra (ottici e radar). Infatti, i sensori orbitanti sono in grado di collezionare i dati di osservazione degli oggetti spaziali, con una maggiore frequenza rispetto alla rete dei sensori a terra, grazie alla elevata ripetitività delle osservazioni legata al periodo orbitale e alla capacità di modificare facilmente l'orientamento per puntare regioni di interesse. I dati di osservazioni dallo spazio fusi con i dati delle osservazioni da terra, aumenteranno l'accuratezza delle stime utili per le applicazioni di sorveglianza spaziale e gestione del traffico spaziale. Questo risultato avrà come impatto la riduzione dei tempi e costi per le operazioni dei sistemi di SSA/SST/STM.

Nell'ambito dello studio saranno affrontate le seguenti tematiche:

1. Il progetto di una costellazione di micro/nano satelliti per massimizzare l'osservazione delle zone con maggiore popolazione di oggetti spaziali (in particolare le orbite basse con quote inferiori ai 2000 km)
2. Determinazione Orbitale (DO) mediante misure angolari (ascensione retta e declinazione) di piccoli archi di traiettoria degli oggetti (tracce nel campo di vista del sensore ottico).
3. La stima della forma, della velocità angolare e dell'assetto degli oggetti spaziali osservati attraverso le "curve di luce".

L'elemento innovativo della ricerca è principalmente contenuto nell'applicazione dell'Intelligenza Artificiale per lo sviluppo di metodi indicati nei punti 2) e 3). In particolare, si studieranno opportune configurazioni di rete neurali, che permettono di fornire soluzioni affidabili riducendo il costo computazionale sulla base di un set minimo di variabili di input.

I metodi classici di DO (come il metodo di Gauss, Double-R iteration o il metodo di Gooding) usati per un piccolo insieme di misurazioni angolari (ascensione retta e declinazione) per stimare un'orbita, non sono applicabili al caso di piccoli archi.

Per questa problematica, lo studio sarà indirizzato verso l'applicazione di recenti tecniche nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale con uso di reti neurali denominate Physics Informed Neural Networks (PINN). Il nuovo concetto introdotto dalla PINN è la capacità di risolvere problemi diretti e inversi governati da equazioni differenziali parametriche. Questo viene fatto approssimando la soluzione dell'equazione differenziale utilizzando una rete neurale che viene addestrata incorporando il modello dinamico nella funzione di "loss" della rete neurale. Questo agisce come un regolarizzatore che penalizza il training della rete quando la fisica del problema è violata.



L'altro aspetto dello studio è la stima della forma e della dinamica di assetto dell'oggetto osservato. La letteratura mostra che sono stati fatti recenti progressi per stimare le proprietà di un oggetto spaziale. Tali tecniche si basano fortemente sulla teoria della stima, come la stima dello stato non lineare e l'inversione bayesiana. Sebbene tali metodi si fondano su un solido background teorico, tendono ad essere computazionalmente costosi. L'obiettivo della ricerca è individuare nuove tecniche che possano fornire un grado più alto di accuratezza, efficienza computazionale e affidabilità. Una possibile soluzione è l'uso di opportune reti neurali per il riconoscimento delle proprietà di un oggetto spaziale osservato. I recenti progressi nel Deep Learning (ad es. Convolutional Neural Networks (CNN), Recurrent Neural networks (RNN)) hanno fornito risultati importanti in molti casi pratici come il riconoscimento vocale, la computer vision, e la robotica. Tale approccio, utilizzato in questi campi, vuole essere esteso al problema introdotto precedentemente. Nella presente ricerca sarà affrontato lo studio dell'uso di CNN e RNN per la classificazione e la caratterizzazione degli oggetti spaziali mediante misurazioni della curva di luce, ovvero la variazione della luce riflessa dall'oggetto e rilevata dal sensore ottico. In particolare, le reti neurali saranno addestrate sulla base di modelli fisici (ad. es. modelli di riflettanza). I modelli basati sul modello fisico consentono la generazione di curve di luce sintetiche in funzione dei parametri degli oggetti (ad es. forma, dimensione, materiale, stato della dinamica). Tali modelli hanno la capacità di produrre un gran numero di punti di "addestramento" per la rete neurale, ma soffrono di errori di modellazione. Lo studio dovrà affrontare questa problematica per individuare una soluzione applicabile e determinare l'accuratezza della stima.

Obiettivi formativi:

Il primo obiettivo è aumentare la conoscenza sulle tematiche della Sorveglianza Spaziale e della Gestione del Traffico Spaziale, che hanno un'importanza non solo nelle problematiche attuali che riguardano i debris e l'affollamento delle orbite terrestri, ma anche le problematiche future del trasporto spaziale intorno alla Terra e in ambiente Cislunare. Il secondo e principale obiettivo formativo è l'applicazione dell'Intelligenza Artificiale ai Sistemi Spaziali. Attualmente l'Intelligenza Artificiale ha suscitato un grande interesse in ambito aerospaziale in particolare per i risultati promettenti nelle applicazioni della guida, la navigazione e il controllo dei veicoli spaziali, e molte aziende del settore ricercano figure professionali che abbiano sia una conoscenza dell'ingegneria aerospaziale sia delle tecniche di Intelligenza Artificiale.

Attività previste:

Le attività previste dalla ricerca sono sintetizzate nei punti 1), 2) e 3) della Descrizione del Progetto. In particolare, le attività 2) e 3) saranno condotte in collaborazione con il Centro SSA dell'Università



dell'Arizona (Tucson, USA) e il Dipartimento di Aeronautica e Astronautica del Massachusetts Institute of Technology (Boston, USA). L'attività di dottorato prevede un periodo di 6 mesi presso l'Università dell'Arizona.

Attinenza del progetto all'area indicata:

Il progetto ha come oggetto lo sviluppo di una tecnologia abilitante basata sull'Intelligenza Artificiale per la sorveglianza spaziale e la gestione del traffico spaziale. L'attività di ricerca risponde all'esigenza manifestata dal SNSI per il comparto Aerospazio e Difesa di introdurre nuove tecnologie nel settore aerospaziale, ed è in accordo con il PRN 2021-2027 in cui nell'Articolazione 8 per l'area Aerospazio si afferma *"Di notevole interesse nazionale sono anche: d) programmi/missioni per l'osservazione dello spazio, per la sorveglianza di orbite di interesse nazionale ed internazionale e per la difesa planetaria nel settore SSA (SST/NEO/SWx) secondo una progettualità evolutiva dell'asset esistente di infrastrutture nazionali di osservazione da Terra"*

Risultati attesi:

La definizione di un sistema spaziale dedicato alla sorveglianza spaziale e gestione del traffico spaziale. Lo sviluppo di nuovi metodi affidabili e con ridotto costo computazionale basati su reti neurali per l'identificazione e la caratterizzazione di oggetti spaziali.

La pubblicazione su riviste internazionali dei risultati della ricerca.

Azienda coinvolta nella ricerca e periodo di attività:

Periodo di 12 mesi presso Thales Alenia Space Italia S.p.A., sede legale Roma Via Saccomuro, 24 C.F ed Iscrizione al Registro delle Imprese di Roma n.02101600480, partita IVA 00991340969.

Referente aziendale per l'attività di ricerca proposta: Ing. Giovanni Campolo

e-mail: Giovanni.Campolo@thalesaleniaspace.com

Firma