Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Titolo del progetto: Sviluppo di tecniche di machine learning per l'analisi e il trattamento di dati telemetrici e controllo satellite per la ricerca di anomalie in sistemi spaziali, con particolare riguardo all'intercettazione di tentativi di intrusione che possano minacciare l'integrità dei dati e/o delle istruzioni di controllo compromettendo la sicurezza della missione spaziale

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:
DOTTORATO NAZIONALE IN INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Responsabile scientifico: Christian Napoli
Area per la quale si presenta la richiesta: INNOVAZIONE
Numero di mensilità da svolgere in azienda: 6
Numero di mensilità da svolgere all'estero: 12 presso Thalews Alenia Space (Francia)
Azienda: Thales Alenia Space
Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 10000
Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INFORMATICA, AUTOMATICA E GESTIONALE - ANTONIO RUBERTI- con delibera del 20/9/2021

Progetto di ricerca:
Il monitoraggio del corretto funzionamento dei satelliti e la prevenzione di eventuali comportamenti anomali nel corso della loro vita operativa è un aspetto fondamentale nelle operazioni dei sistemi spaziali. Di conseguenza un gran numero di serie temporali legate al funzionamento dei vari componenti di bordo, dette telemetrie, deve essere elaborato per verificare lo stato del segmento spaziale in volo, in modo da rilevare in anticipo pattern anomali che potrebbero essere premonitori di guasti di una o più unità del satellite, ed intervenire per prevenirli. Questo tipo di controllo richiede l'utilizzo e la trasmissione di un gran numero di dati ed istruzioni e correlati fra loro. Il progetto si propone di studiare nuove metodologie per l'identificazione di anomalie in dati telemetrici, sfruttando tecniche di machine learning per dati ad elevata dimensionalità, per la ricerca di anomalie in sistemi spaziali, con particolare riguardo all'intercettazione di tentativi di intrusione che possano minacciare l'integrità dei dati e/o delle istruzioni di controllo compromettendo la sicurezza della missione spaziale.
Il monitoraggio dei satelliti e la garanzia della loro sicurezza operativa sono asset strategici per i settori osservazione della Terra e telecomunicazioni, tenendo presente che il cambiamento climatico in atto, anche a seguito delle recenti decisioni e risoluzioni intergovernative (es. Paris Agreement, UNMS Sustainable Development Goals, Sendai Framework for Disaster Risk reduction, Green Deal Europeo) è diventato una priorità nelle agende politiche mondiali, così come è una priorità il controllo e la gestione delle telecomunicazioni. Di conseguenza il numero di satelliti attivi è in continuo aumento così come la loro complessità. I satelliti sono sistemi molto complessi e costosi che producono ogni giorno decine di terabyte di telemetrie legate al funzionamento dei vari componenti di bordo, misurando molteplici parametri, ad esempio temperatura, tensione, corrente, energia, pressione, ecc. Il monitoraggio di queste telemetrie è un aspetto importante e necessario per il buon funzionamento del satellite, esse devono essere elaborate in tempo reale per verificare lo stato del segmento spaziale in volo, in modo da rilevare il prima possibile pattern anomali che possono essere premonitori di guasti. Inoltre un gran numero di istruzioni operative viene costantemente fornito ai satelliti al fine di garantire l'operatività ed il rispetto dei requisiti di missione. Un'eventuale immissione di sequenze operative anomale potrebbe avere, in questo campo, conseguenze disastrose sia da un punto di vista economico, che infrastrutturale, fino ad mettere a rischio la popolazione civile in caso di rientro orbitale non controllato.

Dal punto di vista matematico, esistono già tecniche per l'analisi di telemetrie spaziali e l'individuazione delle anomalie. Per esempio, una delle più utilizzate è la boundary verification o out- of-limits (OOL) checking che consiste nel definire a priori un limite inferiore e superiore per ogni parametro e verificare se i valori assunti dal parametro eccedono tali limiti. Tale metodologia, sebbene molto semplice presenta delle problematiche dovute alla difficoltà di stabilire tali soglie per tutti i parametri da monitorare e all'elevato numero di falsi positivi e falsi negativi che si possono avere. Basta pensare ad anomalie che non eccedono i limiti prestabiliti. Un altro modo è quello di avere un esperto umano addestrato con conoscenze su tutti i valori misurati per giudicare il comportamento dei parametri. Questa soluzione è ovviamente lenta e costosa in termini di risorse umane considerato l'elevato volume di dati rilevati. Da quanto detto si evince che uno dei problemi principali nell'individuazione delle anomalie sta proprio nel fatto che esse non hanno forme note a priori: scopo principale del progetto è proprio quello di mettere a punto tecniche per estrarre caratteristiche dalle quali le anomalie siano individuabili automaticamente.
Negli ultimi decenni l'incremento dei sistemi satellitari, ad esempio nel settore dell'Osservazione della Terra, della Navigazione e delle Telecomunicazioni, ha portato ad una crescente richiesta industriale di adeguati strumenti per il monitoraggio e controllo dello stato dei sistemi spaziali in volo, per garantire funzionalità e prestazioni durante la loro vita operativa. Conseguentemente, le maggiori Aziende costruttrici di sistemi satellitari sia a livello nazionale che europeo, in coordinamento con le Agenzie Spaziali di riferimento, hanno inserito nei loro piani di sviluppo industriale la realizzazione di metodologie ed infrastrutture operative in grado di gestire la crescente mole di informazioni generate dai satelliti in orbita. In questo contesto, emerge in particolare l'esigenza di disporre di mezzi di analisi diagnostica per l'elaborazione di parametri telemetrici da sensori ed apparati posti a bordo dei satelliti, in quanto ritenuti essenziali per il mantenimento in condizioni operative di satelliti singoli o in costellazione. Con la realizzazione del progettosi ritiene di affrontare il problema industriale attraverso l'impiego di tecnologie di frontiera come i modelli analitici per la rappresentazione di dati, modelli di apprendimento automatico, algoritmi di intelligenza artificiale, ecc., per lo sviluppo di metodologie innovative e complementari rispetto alle soluzioni tecnologiche esistenti. Infatti, l'approccio classico (basato sul mero controllo dei valori limite dei parametri) in realtà non è in grado di "seguire" l'andamento dei segnali e di individuare tempestivamente potenziali comportamenti difformi rispetto alle condizioni operative nominali. Questo approccio promettente si basa su algoritmi di analisi di dati, data mining e machine learning, che consentono di ispezionare automaticamente grandi quantità di dati (serie temporali) raccolte durante anni di vita operativa del segmento spaziale. Questa tematica affrontata nel progetto mostra una forte attrattiva industriale da parte di aziende del comparto Spaziale — come ad esempio Thales Alenia Space Italia S.p.A. — impegnate nella progettazione, realizzazione e mantenimento operativo di sistemi spaziali sempre più complessi per rispondere alle esigenze crescenti del mercato istituzionale/commerciale per l'erogazione di servizi agli utenti. Si ritiene pertanto che questa tipologia di aziende sia particolarmente interessata alla successiva valorizzazione dei risultati raggiunti dell'attività di ricerca industriale proposta nel progetto.
Durante il progetto saranno forniti alle parti interessate tutti gli strumenti necessari per massimizzare le opportunità di condividere le informazioni e interpretare i risultati della ricerca, infatti, gli stakeholders interessati allo sviluppo della presente proposta saranno considerati come parte del processo di ricerca. Vari momenti di condivisione delle informazioni, incluso seminari e tavole rotonde saranno utilizzate per aiutare a definire il problema di ricerca e per fornire feedback utili al perfezionamento delle soluzioni di studio, durante tutte le fasi del progetto. Questo feedback verrà utilizzato anche come indicatore dell'impatto socioeconomico e scientifico dei risultati prodotti. I risultati provenienti dalle attività del progetto saranno diffusi in una varietà di formati diversi che potranno includere guide di buona pratica, panoramiche di ricerca per un pubblico specifico, briefing paper, presentazioni e workshops, solo per citarne alcuni.

Titolo del progetto (inglese): Development of machine learning techniques for the analysis and processing of telemetry data and satellite control instructions for the identification of anomalies in space systems, with particular interest to the interception of intrusion attempts that may threaten the integrity of the data and / or control instructions compromising the security of the space mission

Progetto di ricerca (inglese):

The monitoring of the correct functioning of the satellites and the prevention of any anomalous behavior during their operational life is a fundamental aspect in the operations of space systems. Consequently, a large number of time series related to the operation of the various on-board components, called telemetry, must be processed to verify the status of the space segment in flight, in order to detect anomalous patterns in advance that could be premonitory of failures of one or more more units of the satellite, and take action to prevent them. This type of control requires the use and transmission of a large number of data and instructions related to each other. The project aims to study new methodologies for the identification of anomalies in telemetric data, exploiting machine learning techniques for high-dimensional data, for the search for anomalies in spatial systems, with particular regard to the interception of intrusion attempts that may threaten the integrity of data and / or control instructions by compromising the security of the space mission.

The monitoring of satellites and the guarantee of their operational safety are strategic assets for the Earth observation and telecommunications sectors, bearing in mind that the climate change underway, also following recent intergovernmental decisions and resolutions (eg Paris Agreement, UNMS Sustainable Development Goals, Sendai Framework for Disaster Risk reduction, European Green Deal) has become a priority in the global political agendas, as is the control and management of telecommunications. Consequently, the number of active satellites is continuously increasing as well as their complexity. Satellites are very complex and expensive systems that produce tens of terabytes of telemetry related to the operation of the various on-board components every day, measuring multiple parameters, such as temperature, voltage, current, energy, pressure, etc. The monitoring of these telemetry is an important and necessary aspect for the proper functioning of the satellite, they must be processed in real time to verify the status of the space segment in flight, in order to detect as soon as possible anomalous patterns that can be premonitory of failures. . In addition, a large number of operating instructions are constantly provided to satellites in order to ensure operation and compliance with mission requirements. Any entry of anomalous operational sequences could have disastrous consequences in this field both from an economic and infrastructural point of view, up to putting the civilian population at risk in the event of an uncontrolled orbital reentry.

From a mathematical point of view, there are already techniques for the analysis of spatial telemetry and the identification of anomalies. For example, one of the most used is boundary verification or out-of-limits (OOL) checking which consists in defining a priori a lower and upper limit for each parameter and checking if the values assumed by the parameter exceed these limits. This methodology, although very simple, presents problems due to the difficulty of establishing such thresholds for all the parameters to be monitored and the high number of false positives and false negatives that may occur. Just think of anomalies that do not exceed the established limits. Another way is to have a trained human expert with knowledge on all measured values to judge the behavior of the parameters. This solution is obviously slow and expensive in terms of human resources given the high volume of data collected. From what has been said it is clear that one of the main problems in identifying anomalies lies precisely in the fact that they do not have forms known a priori: the main purpose of the project is precisely to develop techniques to extract characteristics from which the anomalies are automatically identifiable.

In recent decades, the increase in satellite systems, for example in the field of Earth Observation, Navigation and Telecommunications, has led to a growing industrial demand for adequate tools for monitoring and controlling the status of space systems in flight, for guarantee functionality and performance during their operational life. Consequently, the major manufacturers of satellite systems both at national and European level, in coordination with the reference Space Agencies, have included in their industrial development plans the creation of methodologies and operational infrastructures capable of managing the growing amount of information generated. from satellites in orbit. In this context, the need emerges in particular to have means of diagnostic analysis for the processing of telemetry parameters from sensors and equipment placed on board the satellites, as they are considered essential for the maintenance in operational conditions of single or constellation satellites. . With the realization of the project he believes to address the industrial problem through the use of frontier technologies such as analytical models for the representation of data, automatic learning models, artificial intelligence algorithms, etc., for the development of innovative and complementary methodologies compared to existing technological solutions. In fact, the classic

approach (based on the mere control of the limit values of the parameters) is not actually able to "follow" the trend of the signals and promptly identify potential behaviors that differ from the nominal operating conditions. This promising approach is based on data analysis, data mining and machine learning algorithms, which allow you to automatically inspect large amounts of data (time series) collected during years of the space segment's operational life. This issue addressed in the project shows a strong industrial attraction on the part of companies in the space sector - such as Thales Alenia Space Italia S.p.A. - engaged in the design, implementation and operational maintenance of increasingly complex space systems to meet the growing needs of the institutional / commercial market for the provision of services to users. It is therefore believed that this type of company is particularly interested in the subsequent enhancement of the results achieved by the industrial research activity proposed in the project.
During the project all the necessary tools will be provided to the interested parties to maximize the opportunities to share information and interpret the research results, in fact, the stakeholders interested in the development of this proposal will be considered as part of the research process. Various moments of information sharing, including seminars and round tables will be used to help define the research problem and to provide useful feedback to refine the study solutions, during all phases of the project. This feedback will also be used as an indicator of the socio-economic and scientific impact of the results produced. Results from project activities will be disseminated in a variety of different formats which may include good practice guides, research overviews for a specific audience, briefing papers, presentations and workshops, to name a few.