

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

Titolo del progetto: Monitoraggio della umidità del terreno da satellite.

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:
TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE E DELLE COMUNICAZIONI (ICT)

Responsabile scientifico: Prof. Nazzareno Pierdicca

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 8

Numero di mensilità da svolgere all'estero: 6 presso THE CESBIO (Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère).
<https://www.cesbio.cnrs.fr/>, Zribi Mehrez mehrez.zribi@ird.fr.

Azienda: e-GEOS S.p.A. (01032180778), an ASI (20%) / Telespazio (80%) company. Via Tiburtina 965, 00156 Roma (IT) ----- SERCO Italia SpA, <https://www.serco.com/eu>, RED Lab <https://www.serco.com/eu/redlab-project>, Via Sciadonna, 24/26 – 00044 - Frascati, Dr. Raffaele Crapolicchio, raffaele.crapolicchio@esa.int

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: Euro 10.000,00

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE, ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI con delibera del 21/09/2021

Progetto di ricerca:

Tra i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG's) dell'Agenda 2030 ONU ed i relativi traguardi, diversi sono riconducibili ai problemi ambientali, le politiche di sviluppo sostenibile ed al cambiamento climatico. Fra questi citiamo "Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico", "Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo", "Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile". Per quanto riguarda il cambiamento climatico il Global Climate Observing System (GCOS), un organismo sponsorizzato da WMO, IOC-UNESCO, UNEP e ISC, ha identificato una serie di grandezze bio-geofisiche (le cosiddette Essential Climate Variables, ECV) il cui monitoraggio è considerato essenziale per comprendere e contribuire a mitigare il cambiamento climatico. Tra queste l'umidità del suolo è fondamentale nel determinare il bilancio tra precipitazioni, infiltrazione e ruscellamento e tra calore sensibile e calore latente. La stessa ECV ha un ruolo fondamentale in agricoltura, specialmente per la gestione dell'irrigazione ed in genere delle risorse alimentari (agrifood). Un grosso contributo al monitoraggio della umidità a scala globale è offerto dalle tecnologie aerospaziali, come dimostra il programma Copernicus della Unione Europea e la Climate Change Initiative (CCI) dell'ESA per la creazione di archivi, basati prevalentemente su dati satellitari, delle diverse ECV e tra queste l'umidità del terreno. Le tecniche di Osservazione della Terra sono le uniche che offrono la capacità sinottica necessaria per un monitoraggio a scala globale.

La ricerca proposta combina alcune delle aree di specializzazione ed aree tematiche descritte nel Programma Nazionale per la Ricerca (PNR), ovvero l'ambiente (il clima), l'aerospazio, l'alimentazione (agrifood), le due ultime indicate anche come prioritarie nel PRN. Essa si inquadra perfettamente nella missione M1C2, investimento 4 del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza che promuove il potenziamento dei sistemi di Osservazione della Terra. L'obiettivo della ricerca è pertanto lo sviluppo di innovativi modelli e metodi per la stima della umidità del suolo con tecniche di telerilevamento aerospaziale utilizzando i dati da una infrastruttura spaziale che sta crescendo non solo in numero ma anche in qualità e quantità di dati. Allo stesso tempo i modelli di simulazione di dati sviluppati nel corso della ricerca potranno essere utilizzati per l'identificazione di nuove e maggiormente efficaci configurazioni di sistemi e sensori; tra queste gli innovativi sistemi radar bistatici che possano utilizzare anche segnali di opportunità, rispetto alle

convenzionali tecniche monostatiche. Per quanto riguarda le missioni satellitari la ricerca verterà sull'uso dei radar a bordo dei satelliti europei (Sentinel-1) già in orbita ma anche di quelli in fase di sviluppo (ROSE-L e CIMR, particolarmente adatti alla misura della umidità) e piccole missioni innovative come HydroGNSS finanziata da ESA nell'ambito del programma Scout. Le missioni vedono un contributo significativo dell'industria manifatturiera italiana, e la ricerca può anche alimentare la domanda di prodotti a valore aggiunto e la validità dell'offerta da parte delle aziende nazionali di servizi (midstream e downstream). Si ricorda come le proiezioni economiche prevedano nel campo del downstream un mercato crescente e un portfolio di prodotti/servizi di valore superiore a quello delle aziende manifatturiere.

Nel corso degli anni, un grande sforzo è stato dedicato alla stima del contenuto di umidità del suolo da dati SAR (Synthetic Aperture Radar) aerei e satellitari, che garantiscono elevate risoluzioni spaziali e temporali in quasi tutte le condizioni meteorologiche. Tuttavia, il segnale radar retrodiffuso è influenzato dalle proprietà del suolo come la rugosità superficiale e la copertura vegetale, che devono essere considerate quando si recuperano i parametri geofisici. Un importante contributo in questo senso deriva dall'utilizzo di tecniche di decomposizione polarimetrica SAR, sfruttandone la capacità di separare diversi meccanismi di diffusione elettromagnetica (es. superficie, doppio rimbalzo, volume) e dunque la possibilità di studiare le variazioni di umidità non solo su suoli, nudi ma anche su aree agricole caratterizzate da differenti tipi di colture e strutture della vegetazione. Il progetto mira pertanto a sviluppare mappe satellitari dell'umidità del suolo per scopi agricoli con l'intento di fornire prodotti finali almeno su scala di campo (ordine di pochi ettari), grazie alla elevata risoluzione spaziale dei sistemi SAR. L'obiettivo del progetto sarà raggiunto mettendo a punto un algoritmo di inversione che sfrutta la ripetitività temporale delle misure satellitari (tecniche multitemporali) e basato su un nuovo approccio di decomposizione polarimetrica che beneficerà della disponibilità di dati SAR completamente polarimetrici acquisiti da missioni come ALOS-2 e SAOCOM, in preparazione di due prossime missioni della NASA e dell'ESA, ovvero NISAR e ROSE-L. È in corso una collaborazione con il Jet Propulsion Laboratory della NASA, che potrebbe proseguire nell'ambito della missione NISAR, per l'analisi dei dati polarimetrici raccolti durante le campagne UAVSAR (Uninhabited Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar), molto importanti per la messa a punto e la validazione degli algoritmi.

Gli obiettivi del progetto saranno raggiunti suddividendoli in sei Work Packages (WP) organizzati in diverse attività sequenziali che coprono un periodo di tre anni:

WP1 - Stato dell'arte e revisione della letteratura:

T1.1 - Revisione della letteratura: il progetto partirà con l'aggiornamento dello stato dell'arte attuale al fine di analizzare quali sono le tecniche di decomposizione polarimetrica più utilizzate insieme ad algoritmi per stimare il contenuto di umidità del suolo da dati SAR, includendo anche l'uso di dati completamente polarimetrici provenienti da sensori spaziali e aerei.

WP2 - Acquisizione dati SAR da satellite e da aereo:

T2.1 - Acquisizione dati SAR spaziali e aerei: il progetto acquisirà dati polarimetrici raccolti da missioni SAR spaziali, come ALOS-2 e SAOCOM, entrambe in banda L. Verrà inoltre studiata la possibilità di integrare dati a frequenze diverse (es. banda C). Questo scopo il progetto si avvarrà di dati acquisiti dalla missione ESA Copernicus Sentinel-1 in banda C, liberamente accessibili. Saranno acquisiti anche i dati in banda L raccolti dall'aereo NASA/JPL UAVSAR. Questa attività sarà condotta nell'ambito di una collaborazione in corso con il Jet Propulsion Laboratory della NASA.

T2.2 - Acquisizione dati dalla missione NISAR: i dati raccolti in banda L dalla prossima missione NASA/ISRO NISAR, il cui lancio è previsto nel 2022, verranno acquisiti beneficiando dell'attuale collaborazione con il NASA Jet Propulsion Laboratory.

WP3 - Acquisizione dati in situ:

T3.1 - Acquisizione dati da una rete di sensori di terra: il progetto acquisirà dati in situ raccolti da una rete di sensori di terra wireless attualmente in fase di sviluppo in un sito agricolo vicino Roma nell'ambito del progetto LabCIMEO, in grado di fornire dati ausiliari (umidità e temperatura del suolo, stadio di crescita della vegetazione, ecc.) che sono essenziali per mettere a punto gli algoritmi e validare i risultati. Verranno utilizzate anche altre fonti di dati sul suolo (ad es. International Soil Moisture Network, ecc.).

WP4 - Pre-elaborazione dei dati e analisi statistica:

T4.1 - Sviluppo di una catena di pre-elaborazione aggiornata e analisi statistica: sarà fornita una catena di pre-elaborazione per elaborare i dati SAR. La ricerca si baserà su uno strumento basato sulla libreria Python Snappy già sviluppato e testato per pre-elaborare i prodotti Sentinel-1 e Sentinel-2 utilizzando tutte le funzionalità integrate nel software gratuito ESA SNAP (Sentinel Application Platform). Questo strumento aiuterà a creare uno stack di dati multitemporali calibrati radiometricamente e geocodificati a partire dai prodotti grezzi (es. prodotti Single Look Complex). Con la disponibilità di dati polarimetrici provenienti da diverse missioni SAR spaziali, questo strumento sarà aggiornato in modo da avere una catena di pre-elaborazione che possa essere applicata a diversi dataset e in grado di fornire l'input per l' algoritmo di inversione multi-temporale. Preliminarmente, verrà condotta un'analisi statistica sui dati pre-elaborati al fine di estrarre alcuni parametri, come il coefficiente di backscattering 0, da regioni di interesse in cui siano presenti dati di verità a terra. L'analisi includerà anche lo sfruttamento di quelle scomposizioni polarimetriche comunemente utilizzate in letteratura, come la scomposizione basata sul modello di Freeman-Durden, al fine di identificare quali parametri polarimetrici risultano più correlati alle grandezze misurate a terra, ed in particolare alla umidità. Un'analisi delle firme polarimetriche sarà condotta anche sui dati UAVSAR, fondamentali per calibrare e validare gli algoritmi.

T4.2 - Pre-elaborazione e analisi dei dati NISAR: i dati della missione NISAR, quando disponibili, saranno pre-elaborati e analizzati secondo quanto già illustrato in T4.1 e analizzati seguendo i passaggi descritti in T4.2.

WP5 - Sviluppo e validazione di una nuova scomposizione polarimetrica:

T5.1 - Sviluppo di una nuova tecnica di decomposizione polarimetrica: sarà sviluppato un nuovo approccio di decomposizione polarimetrica basato su modelli elettromagnetici più complessi rispetto ai metodi fino ad ora presentati in letteratura, per separare la matrice di covarianza misurata in diversi meccanismi di scattering e isolare il contributo della vegetazione. Ad esempio, l'effetto di double bounce, al momento identificato assunto il modello di scattering di un diedro, sarà basato su un modello di cilindri verticali distribuiti aleatoriamente che meglio rappresentano i tronchi o gli steli della vegetazione.

T5.2 - Test e validazione del nuovo approccio di decomposizione polarimetrica: il nuovo approccio di decomposizione polarimetrica sarà testato sui dati spaziali e aerei pre-elaborati e analizzati durante il WP4.

WP6 - Messa a punto di un nuovo algoritmo di inversione multi-temporale basato su un nuovo approccio di decomposizione polarimetrica:

T6.1 - La ricerca si baserà su un algoritmo esistente per stimare il contenuto di umidità volumetrico del suolo da una serie temporale di dati in banda C raccolti dalla missione Sentinel-1. Il software implementa un criterio bayesiano di massima probabilità a posteriori (MAP) in cui gli effetti della vegetazione vengono corretti utilizzando un modello water-cloud (WCM), che richiede dati ausiliari come l'NDVI estratto dai dati ottici Sentinel-2. A partire da questo verrà implementato un nuovo algoritmo che usi dati completamente polarimetrici in banda L. L'algoritmo si baserà sul nuovo approccio di scomposizione polarimetrica sviluppato in T5.1 e T5.2, che darà la possibilità, come già accennato, di separare la matrice di covarianza misurata nei diversi meccanismi di scattering e separare il termine di volume da quelli associati al terreno, senza la necessità di utilizzare dati ottici per mitigare gli effetti indotti dalla vegetazione.

T6.2 - Validazione dei risultati ottenuti dal nuovo algoritmo di retrieval: i risultati ottenuti applicando il nuovo algoritmo di retrieval sui dati completamente polarimetrici in banda L saranno validati utilizzando dati in situ ground.

Titolo del progetto (inglese): Monitoraggio della umidità del terreno da satellite.

Progetto di ricerca (inglese):

Among the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) of the UN Agenda 2030 and the related targets, several are related to environmental problems, sustainable development policies and climate change. These include "Take urgent action to combat climate change and its impacts", "Ensure sustainable consumption and production patterns", "End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture". As regards climate change, the Global Climate Observing System (GCOS), a body sponsored by WMO, IOC-UNESCO, UNEP and ISC,

has identified a series of bio-geophysical quantities (the so-called Essential Climate Variables, ECV) whose monitoring is considered essential for understanding and contributing to mitigating climate change. Among these, soil moisture is fundamental in determining the balance between precipitation, infiltration and runoff and between sensible heat and latent heat. This ECV itself has a fundamental role in agriculture, especially for the management of irrigation and in general of food resources (agrifood). A major contribution to global humidity monitoring is offered by aerospace technologies, as demonstrated by the Copernicus program of the European Union and the ESA Climate Change Initiative (CCI) for the creation of archives, mainly based on satellite data, of the various ECVs, and among these the soil moisture. Earth Observation techniques are the only ones that offer the synoptic capability necessary for monitoring on a global scale. The proposed research combines some of the areas of specialization and thematic areas described in the National Research Program (PNR), i.e. the environment (climate), aerospace, food (agrifood), the latter two also indicated as priorities in the PRN. It fits perfectly into the M1C2 mission, investment 4 of the National Recovery and Resilience Plan which promotes the strengthening of Earth Observation systems.

The goal of the research is therefore the development of innovative models and methods for estimating soil moisture by aerospace remote sensing techniques using data from a space infrastructure that is growing not only in number but also in quality and quantity of data. At the same time, the data simulation models developed during the research can be used for the identification of new and more effective system and sensor configurations; among these the innovative bistatic radar systems that can also use signals of opportunity offer new capability and synergic features when compared to conventional monostatic techniques. As regards satellite missions, the research will focus on the use of radars on board the European satellites (Sentinel-1) already in orbit but also of those under development (ROSE-L and CIMR, particularly suitable for measuring humidity) and small innovative missions such as HydroGNSS funded by ESA as part of the Scout program. Those missions are being developed with a significant contribution from the Italian manufacturing industry (upstream). In addition, the research can also foster the demand for value-added products and grow the offer by national service companies (midstream and downstream). It should be remembered that the economic projections foresee a growing market in the downstream field and a portfolio of products / services of higher value than that of manufacturing companies.

Over the years, a great deal of effort has been devoted to estimating soil moisture content from aerial and satellite SAR (Synthetic Aperture Radar) data, which guarantee high spatial and temporal resolution in almost all weather conditions. However, the backscattered radar signal is affected by other soil properties, such as surface roughness and vegetation cover, which must be considered when retrieving geophysical parameters. An important contribution in this sense derives from the use of SAR polarimetric decomposition techniques, exploiting their ability to separate different electromagnetic scattering mechanisms (e.g. surface, double bounce, volume) and therefore the possibility of studying moisture variations not only over bare soils, but also on agricultural areas characterized by different types of crops and vegetation structures. The project therefore aims at developing satellite maps of soil moisture for agricultural purposes with the aim of providing final products at least on a field scale (order of a few hectares), thanks to the high spatial resolution of SAR systems. The objective of the project will be achieved by developing an inversion algorithm that exploits the temporal repetition of satellite measurements (multitemporal techniques) and that will be based on a new polarimetric decomposition approach that will benefit from the availability of fully polarimetric SAR data acquired by missions such as ALOS- 2 and SAOCOM, in preparation for two upcoming NASA and ESA missions, namely NISAR and ROSE-L. A collaboration is underway with NASA's Jet Propulsion Laboratory, which could continue as part of the NISAR mission, for the analysis of polarimetric data collected during UAVSAR (Uninhabited Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar) campaigns, very important for the development and validation of algorithms. The activities will be managed through sixth Work Packages (WP) organized in different sequential activities covering a period of three years:

WP1 - State of the art and literature review:

T1.1 - Literature review: the project will start with the update of the current state of the art in order to analyze which are the most used polarimetric decomposition techniques and algorithms to estimate the soil moisture content from SAR data, including also the use of fully polarimetric data from spaceborne and airborne sensors.

WP2 - SAR data acquisition from satellite and aircraft:

T2.1 - Space and aircraft SAR data acquisition: the project will acquire polarimetric data collected by space SAR missions, such as ALOS-2 and SAOCOM, both in L band. The possibility of integrating data at different frequencies will also be studied (e.g. C band). For this purpose, the project will make use of freely accessible data acquired by the ESA Copernicus Sentinel-1 mission in C band. L-band data collected by the NASA / JPL UAVSAR aircraft will also be acquired. This activity will be conducted as part of an ongoing collaboration with NASA's Jet Propulsion Laboratory.

T2.2 - Data acquisition from the NISAR mission: the data collected at L band by the next NASA / ISRO NISAR mission, scheduled to launch in 2022, will be acquired benefiting from the current collaboration with the NASA Jet Propulsion Laboratory.

WP3 – In situ data acquisition:

T3.1 - Data acquisition from a network of ground sensors: the project will acquire in situ data collected by a network of wireless ground sensors currently under development at an agricultural site near Rome as part of the LabCIMEO project. It is capable of providing auxiliary data (soil moisture and temperature, growth stage of vegetation, etc.) which are essential for fine-tuning the algorithms and validating the results. Other sources of soil data will also be used (e.g., the International Soil Moisture Network, ISMN).

WP4 - Data preprocessing and statistical analysis:

T4.1 - Development of an updated pre-processing chain and statistical analysis: A pre-processing chain will be implemented to process SAR data. The research will build on a tool based on the Snappy Python library already developed and tested to pre-process Sentinel-1 and Sentinel-2 products using all the features built into the free ESA SNAP (Sentinel Application Platform) software. This tool will help to create a stack of radiometrically calibrated and geocoded multitemporal data from raw products (e.g., Single Look Complex products). With the availability of polarimetric data from different space SAR missions, this tool will be updated to provide a pre-processing chain that can be applied to different datasets and capable of providing input for the multitemporal algorithm. Preliminarily, a statistical analysis will be carried out on the pre-processed data in order to extract some parameters, such as the backscattering coefficient σ^0 , from regions of interest in which ground truth data are available. The analysis will also include the exploitation of those polarimetric decompositions commonly used in literature, such as the decomposition based on the Freeman-Durden model, in order to identify which polarimetric parameters are most correlated to the quantities measured on the ground, and in particular to soil moisture. An analysis of the polarimetric signatures will also be carried out on the UAVSAR data, fundamental for calibrating and validating the algorithms.

T4.2 - Pre-processing and analysis of NISAR data: the data of the NISAR mission, when available, will be pre-processed as already illustrated in T4.1 and analyzed following the steps described in T4.2.

WP5 - Development and validation of a new polarimetric decomposition:

T5.1 - Development of a new polarimetric decomposition technique: a new polarimetric decomposition approach will be developed based on more complex electromagnetic models as compared to the methods so far presented in the literature. The scope is separating the measured covariance matrix in different scattering mechanisms and isolate the contribution of vegetation. For example, the double bounce effect, currently identified by assuming the scattering pattern of a dihedral, will be based on a model of randomly distributed vertical cylinders that best represent the trunks or stems of vegetation.

T5.2 - Test and validation of the new polarimetric decomposition approach: the new polarimetric decomposition approach will be tested on the satellite and airborne data pre-processed and analyzed during WP4.

WP6 - Development of a new multi-temporal inversion algorithm based on a new polarimetric decomposition approach:

T6.1 -The research will rely on an existing algorithm to estimate the volumetric moisture content of the soil from a time series of C-band data collected by the Sentinel-1 mission. The software implements a Bayesian maximum a posterior probability (MAP) criterion in which vegetation effects are corrected using a water-cloud model (WCM) that requires ancillary data, such as NDVI, extracted from Sentinel-2 optical data. Starting from this, a new algorithm will be implemented that uses fully polarimetric data in L band. The algorithm will be based on the new polarimetric decomposition approach developed in T5.1 and T5.2, which will give the possibility, as already mentioned, to separate the covariance matrix measured in the different scattering mechanisms and separate the volume term from those

associated with the soil, without the need to use optical data to mitigate the effects of vegetation.

T6.2 - Validation of the results obtained by the new retrieval algorithm: the results obtained by applying the new retrieval algorithm on fully polarimetric data in L band will be validated using the situ ground data.