UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Environmental Monitoring and Management

2627-2-F9103Q011

Obiettivi

Lo scopo di questo corso è fornire agli studenti una congrua comprensione del telerilevamento radar per il monitoraggio ambientale, con particolare attenzione ai principi fisici, alle tecniche di elaborazione del segnale e all'interpretazione dei dati radar ad apertura sintetica (SAR). Il corso inizierà introducendo gli elementi essenziali della teoria dei segnali, necessari per comprendere il funzionamento dei sistemi SAR. Gli studenti esploreranno poi la formazione del dato SAR, l'elaborazione e l'estrazione di informazioni significative dai segnali radar. Le applicazioni prese in considerazione nel corso copriranno un'ampia gamma di ambiti ambientali, tra cui l'analisi della copertura del suolo, il monitoraggio della vegetazione e dell'umidità del suolo, la mappatura dei coltivi, il rilevamento dei cambiamenti e le applicazioni idrologiche. Entro la fine del corso, gli studenti saranno in grado di valutare criticamente i prodotti di dati ambientali basati su SAR e di comprendere in che modo il telerilevamento radar contribuisce alle strategie di osservazione della Terra.

Contenuti sintetici

Il corso fornisce basi teoriche e strumenti pratici per l'utilizzo dei dati SAR spaziali nel monitoraggio ambientale. L'accento è posto sulla comprensione della formazione del segnale SAR, delle interazioni radar-ambiente e delle fasi necessarie per elaborare i dati radar grezzi in informazioni utilizzabili.
Gli studenti saranno guidati attraverso i fondamenti dell'elaborazione del segnale in relazione ai sistemi radar, con particolare attenzione ai meccanismi alla base della risoluzione, della coerenza, della macchiolina e della retrodiffusione. Verranno esaminati diversi prodotti di dati (ampiezza, interferometrici, polarimetrici) e la loro rilevanza ambientale.
Le sessioni pratiche che utilizzano strumenti open source e piattaforme GIS mostreranno l'applicazione dei concetti attraverso esempi concreti.

Programma esteso

1. Introduzione al monitoraggio ambientale tramite telerilevamento

- Ruolo dell'osservazione satellitare della Terra nel monitoraggio ambientale
- Panoramica del telerilevamento attivo e passivo
- Vantaggi e limiti del radar per applicazioni ambientali

2. Fondamenti della teoria dei segnali (per la comprensione del radar)

- Segnali e sistemi: definizioni e proprietà di base
- Trasformata di Fourier e rappresentazione spettrale
- Concetti di analisi tempo-frequenza
- Filtraggio e correlazione abbinati
- Nozioni di base sulla propagazione delle onde e sul ritardo temporale nei sistemi radar

3. Telerilevamento radar e imaging SAR

- Principi del radar: trasmissione, riflessione e ritorno degli impulsi
- Radar ad apertura sintetica: geometria e acquisizione del segnale
- Risoluzione in portata e azimut: come il SAR raggiunge un'alta risoluzione
- Compressione del segnale SAR ed effetto Doppler
- Dai dati grezzi all'immagine: algoritmi di focalizzazione e livelli di elaborazione SAR
- Interpretazione fisica della retrodiffusione radar (rugosità superficiale, costante dielettrica, geometria)

4. Elaborazione dei dati SAR ed estrazione delle informazioni

- Pre-elaborazione: calibrazione, filtraggio delle macchioline e correzione del terreno
- SAR polarimetrico: basi e potenziali di classificazione
- SAR interferometrico (InSAR): basi, coerenza, sfasamento
- SAR tomografico (TomoSAR): nozioni di base e applicazioni
- Analisi delle serie temporali per il rilevamento dei cambiamenti
- Estrazione di informazioni basata sull'ampiezza rispetto alla fase
- Utilizzo dell'apprendimento automatico e della classificazione nell'analisi dei dati SAR (panoramica)

5. Applicazioni ambientali del telerilevamento SAR

- Classificazione e monitoraggio della copertura del suolo
- Valutazione dell'umidità del suolo e della struttura della vegetazione
- Analisi dell'area urbana e monitoraggio delle infrastrutture
- Mappatura delle inondazioni e dinamica delle acque superficiali
- Rilevamento dei cambiamenti nell'uso del suolo e valutazione dell'impatto ambientale

Nota: l'ordine e il contenuto degli argomenti possono essere leggermente modificati per adattarsi meglio al retroterra culturale degli studenti e per mantenere aggiornate le informazioni.

Prerequisiti

Gli studenti devono avere una conoscenza di base del telerilevamento o dell'analisi geospaziale. Sono utili corsi precedenti in scienze ambientali o osservazione della Terra. Non è richiesta la conoscenza preliminare del radar o della teoria dei segnali, ma ci si aspetta una generale dimestichezza con il ragionamento quantitativo. Si consiglia una conoscenza di base degli strumenti GIS (ad esempio QGIS). Non è richiesta alcuna formazione in

programmazione.

Modalità didattica

Il corso comprende lezioni che coprono aspetti teorici dei sistemi radar, teoria del segnale, formazione di dati SAR e applicazioni ambientali, nonché sessioni pratiche in cui gli studenti elaboreranno dati SAR reali, estrarranno informazioni e produrranno analisi spaziali utilizzando strumenti software GIS e radar.

Materiale didattico

Radar e SAR: teoria, segnali e dati

- Curlander, J. C., & McDonough, R. N. (1991). Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. Wiley - A classical text to understand SAR data formation, the radar system, and applied signal theory.
- Henderson, F. M., & Lewis, A. J. (Eds.). (1998). Manual of Remote Sensing: Principles and Applications of Imaging Radar, Vol. 2. Wiley - Extensive coverage of the physics of radar reflectance, radar-surface interaction, and environmental applications. Great for exploring the physical significance of backscatter as well.
- Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I., & Papathanassiou, K. P. (2013). A Tutorial on Synthetic Aperture Radar. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 1(1), 6–43 - Widely cited, accessible article with detailed explanation of SAR operation, polarimetry and interferometry. Perfect for students as a first technical but not overly mathematical approach

Elaborazione dei dati radar, applicazioni ambientali

- Richards, J. A. (2009). Remote Sensing with Imaging Radar. Springer - Well-organized text covering the processing of SAR data (focusing, speckle, classification) and a wide range of applications including use in urban environments, vegetation and hydrology.
- ESA (European Space Agency). Sentinel-1 Technical Guide: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar A free, official resource. Essential to understand the specifications of SAR Sentinel-1 data, product structure and processing levels.

Materiale di complemento, ambienti software

- SNAP Toolbox (ESA) – Open source software for processing Sentinel-1 data. Used
- in tutorials. https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/
- QGIS + SAR plugins (e.g., SARscape, but also open-source options) – GIS used for
- visualization and thematic analysis.
- OpenSARLab – Online platform by Alaska Satellite Facility with tutorials and datasets for the study of SAR. https://opensarlab.asf.alaska.edu

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Esame orale. Il punteggio minimo sufficiente è 18 su 30, il punteggio massimo è 30 su 30 con lode.

Orario di ricevimento

Su appuntamento, da fissarsi tramite e-mail. Gli incontri individuali vengono offerti tramite videoconferenza o audioconferenza oppure presso la sede riferita sotto.

Fabio Dell'Acqua
Ufficio: piano H
Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione
Università di Pavia
via Adolfo Ferrata 5, 27100 Pavia
Telefono: +39-0382-985664
E-mail: fabio.dellacqua@unipv.it
Web: http://tlclab.unipv.it/index.php/people/the-team/23-people/75-fabio-dell-acqua

Sustainable Development Goals

LOTTA CONTRO IL CAMBIAMENTO CLIMATICO