

## Abstract

- **Nome e cognome:** Paolo Testolina
- **Laurea/Dottorato in:** Ingegneria delle Telecomunicazioni
- **Facoltà di:** Ingegneria dell'Informazione
- **Università degli Studi di:** Padova
- **Titolo della tesi:** Error Propagation Analysis in the Processing of SAR Images for Subsidence Measurements (Analisi della Propagazione dell'Errore nell'Elaborazione di Immagini SAR per Misure di Subsidenza)

La misura e la stima di fenomeni fisici sono processi intrinsecamente affetti da incertezza, definita come la stima legata al risultato di una prova che caratterizza l'escursione dei valori entro cui si suppone che cada il valore vero del misurando. Questa grandezza è generalmente quantificata nella deviazione standard associata alla misura o alla stima ed è di fondamentale importanza nel determinare la validità del processo di stima e dei relativi risultati.

Questa tesi presenta un metodo di calcolo dell'incertezza per la *Coherent Pixel Technique* (CPT), una tecnica di interferometria avanzata sviluppata dal Remote Sensing Laboratory (RSLab) dell'Università Politecnica di Catalogna (UPC) di Barcellona. La CPT genera mappe altimetriche e di velocità di deformazione del suolo a partire dai dati satellitari equipaggiati con Radar ad Apertura Sintetica (*Synthetic Aperture Radar*, SAR), i quali vengono interpretati come segnali complessi la cui fase contiene informazioni topografiche sull'area osservata. Da ulteriori elaborazioni, utilizzando tecniche di Interferometria Differenziale avanzata, in particolare l'Interferometria a Diffusori Permanenti (*Persistent Scatterer Interferometry*, PSI), è possibile ottenere una stima della velocità verticale del terreno o di strutture quali edifici, ponti e strade.

Questo lavoro studia in dettaglio la sezione della CPT che stima la suddetta velocità su un sottoinsieme di pixel dell'area di interesse. In particolare, l'incertezza viene quantificata tramite la deviazione standard della velocità stimata, calcolata propagando attraverso l'algoritmo che implementa la CPT il rumore della misura iniziale, dovuto a numerosi fattori, tra cui il rumore termico dei sensori e l'interazione del segnale elettromagnetico con i diversi strati dell'atmosfera. Il risultato viene fornito sotto forma di mappa, e permette di visualizzare e di confrontare in modo efficace la stima della velocità su ogni pixel processato con la relativa deviazione standard, in modo da poter discriminare le misure su ogni punto in base alla loro affidabilità. Lo strumento sviluppato, oltre a offrire questa ulteriore caratterizzazione dei risultati, può anche essere impiegato per futuri

studi su quanto la topologia dell'area osservata influenzi la qualità dei risultati e su quali criteri di selezione dei pixel da elaborare siano i più efficaci.

La deviazione standard è calcolata analiticamente ed in modo sequenziale per ogni step dell'algoritmo. La validità del procedimento è stata verificata in primo luogo in uno scenario simulato e quindi sull'area della città di Venezia, utilizzando i dati forniti dai satelliti Sentinel 2A e 2B facenti parte del programma Copernicus dell'Agenzia Spaziale Europea. La particolare geografia della zona lagunare e della città costituiscono un caso di studio unico, da cui è possibile ottenere in modo inequivocabile considerazioni di carattere generale. L'analisi del profilo spaziale dell'incertezza permette infatti di ottenere, al di là del singolo risultato numerico, interessanti e significative informazioni sulla robustezza di questo tipo di tecniche. Questa validazione risulta inoltre fondamentale in un caso delicato come quello della città insulare di Venezia, già oggetto di numerosi studi condotti con tecniche analoghe a quella considerata nella tesi. Il centro storico, colpito regolarmente da episodi di "acqua alta", costituisce un ambiente estremamente sensibile a fenomeni di subsidenza del terreno, e pertanto è richiesta una precisione maggiore rispetto ad altri scenari, dove una stima meno attendibile può essere sufficiente.