

Studio di fattibilità del monitoraggio vibrazionale dei ponti tramite Micro-Motion SAR

Alessandro Lotti, Chiara Suppi, Daniel Tonelli, Stefano Zorzi, Daniele Zonta

Obiettivi di UniTN in WP6

Task 6.1: Studio di fattibilità su monitoraggio vibrazionale di ponti con la tecnica MM-SAR, inclusa validazione tramite test in laboratorio e su ponti.

Task 6.3: Protocolli per l'integrazione di dati on-site e satellitari InSAR mediante algoritmi di data fusion, con applicazione pratica su un caso studio.

Cos'è la tecnica micromotion-SAR

1. Effetto Doppler:

Quando un segnale colpisce un bersaglio in movimento, si verifica uno shift (f_D) nella frequenza (c/λ), noto come effetto Doppler, che dipende dalla velocità del bersaglio rispetto alla fonte:

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \quad (1)$$

2. Effetto su un oggetto in movimento:

A causa dell'effetto Doppler, in un'immagine SAR, un bersaglio in movimento appare spostato in direzione di volo del satellite (azimut). Lo spostamento in azimut (D_{az}), dipende dalla velocità radiale dell'oggetto (v_r), e si definisce come [1]:

$$D_{az} = -\frac{v_r \cdot R}{v_{satellite}}$$

$v_{satellite}$ è la velocità del satellite, e R la distanza tra il satellite e il bersaglio a terra.

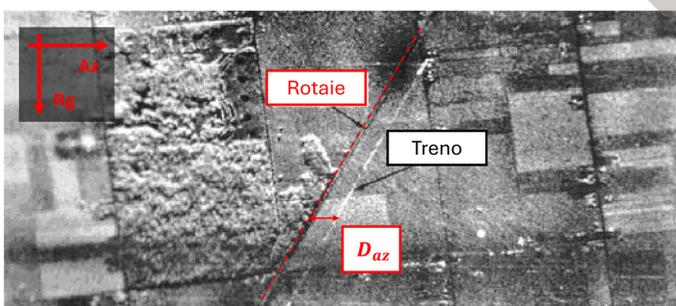


Fig. 1 – La foto mostra un treno in movimento in un'immagine SAR. Il treno appare spostato dai binari in direzione azimuth [2]

3. Effetto su un oggetto vibrante:

Le vibrazioni dei bersagli radar causano modulazioni di fase nel segnale, note come micro-motion (MM). Questo effetto produce echi accoppiati in direzione azimut. Una lunga esposizione del bersaglio durante l'acquisizione SAR migliora la stima del MM.

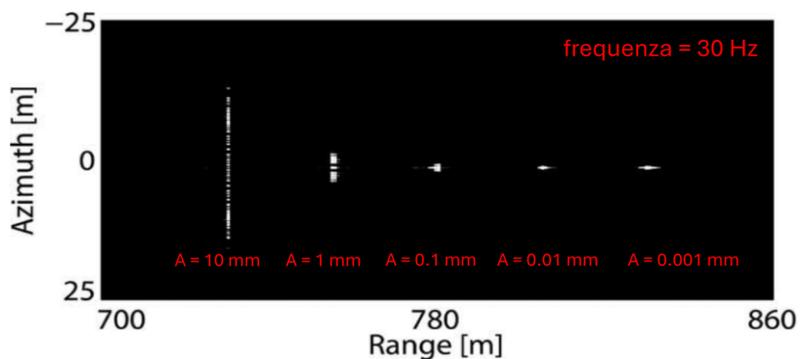


Fig.2. – La figure mostra un'immagine SAR simulata con cinque target vibranti [3] a frequenza $f = 30$ Hz, e ampiezza delle oscillazioni (da sinistra a destra) pari a 10, 1, 0.1, 0.01 e 0.001 mm

Idea

Sfruttamento del micromotion SAR per il monitoraggio vibrazionale dei ponti con l'obiettivo di condurre un'analisi modale direttamente dal satellite. Questo approccio elimina le problematiche legate all'installazione di sensori in situ e consente l'analisi di dati storici.

Metodo

1. Selezione dell'area di interesse (AOI) nell'immagine SAR
2. Suddivisione in subaperture di risoluzione inferiore.
3. Tracciamento del bersaglio e ricostruzione velocità istantanea

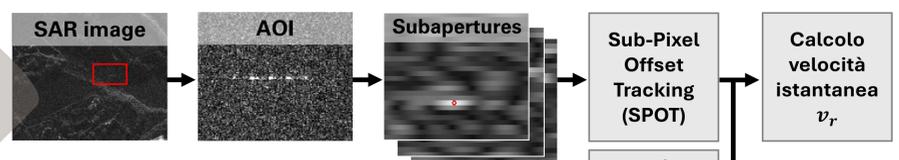


Fig. 3 – La figura mostra il workflow dell'algoritmo di estrazione MM-SAR

Validazione in situ e risultati

Confronto dei risultati a terra con quelli estratti con MM-SAR. Un corner reflector (CR) isolato, e montato su uno shaker, ha simulato vari tipi di vibrazione



Fig. 4 – Le immagini mostrano il sito dove sono state eseguite le prove a) e il corner reflector posizionato sullo shaker b) LVDT

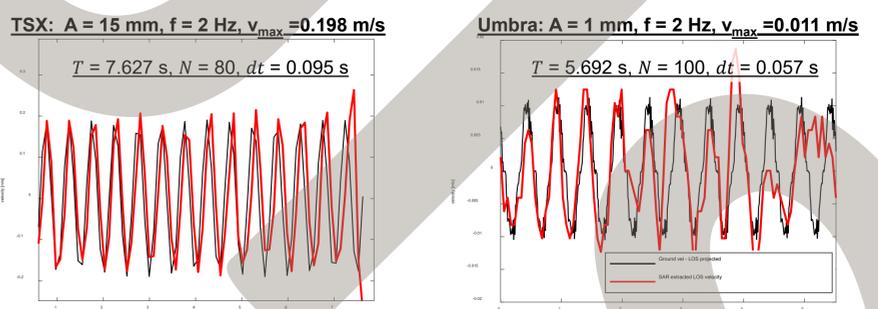


Fig. 5. Risultato dell'estrazione della velocità istantanea con MM-SAR per due prove in situ: la prima con velocità di picco $v_{max} = 0.198$ m/s, la seconda con $v_{max} = 0.011$ m/s

Conclusioni

Se il bersaglio è isolato, fino a velocità dell'ordine di 0.01 m/s, è possibile ricostruire la storia temporale in velocità.

Prossimi passi

Ottimizzare algoritmo per estrazione velocità più basse (associate a ponti) e target con rapporto segnale-rumore inferiore. Integrazione con modelli analitici e/o numerici per migliorare l'estrazione

Bibliografia

- [1] Raney, R. (1971). Synthetic Aperture Imaging Radar and Moving Targets
- [2] Moving objects and their displacement in SAR images. (2016). Geoawesome
- [3] Ruegg, M., Meier, E., & Nuesch, D. (2007). Vibration and Rotation in Millimeter-Wave SAR