
aicq
Associazione Italiana Cultura Qualità
Settore Aerospace
aicq
Associazione Italiana Cultura Qualità
Piemontese
Politecnico
di Torino
Terzo convegno Nazionale
QUALITÀ NELL'AEROSPACE
Sfide, Risultati e Opportunità
della Qualità nella Space Economy
TITAN4
DALLA COMPLESSITÀ DEL DATO
ALLA FIDUCIA NELLA MISURA
Stefano Cruciani
Advisor - IP, Quality & Special Projects
11-12 NOVEMBRE
2026
TORINO

TITAN4 - Earth Intelligence platform

Trasforma dati satellitari in informazioni strategiche

INTEGRAZIONE DI DATI MULTI-SORGENTE

01

Banche dati sui GeoHazard

Accedi a un database completo di informazioni sui rischi geologici per anticipare e mitigare i pericoli naturali.

02

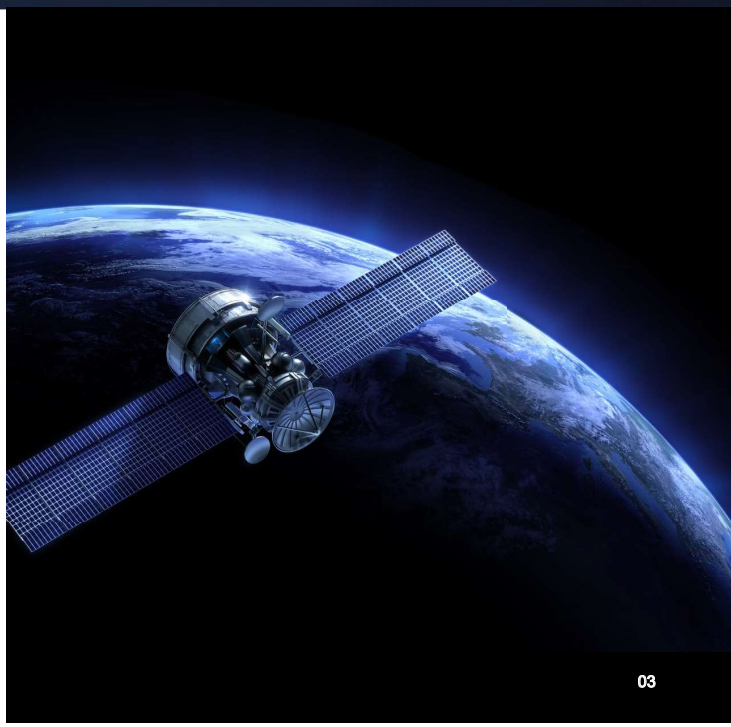
Sensori e ispezioni

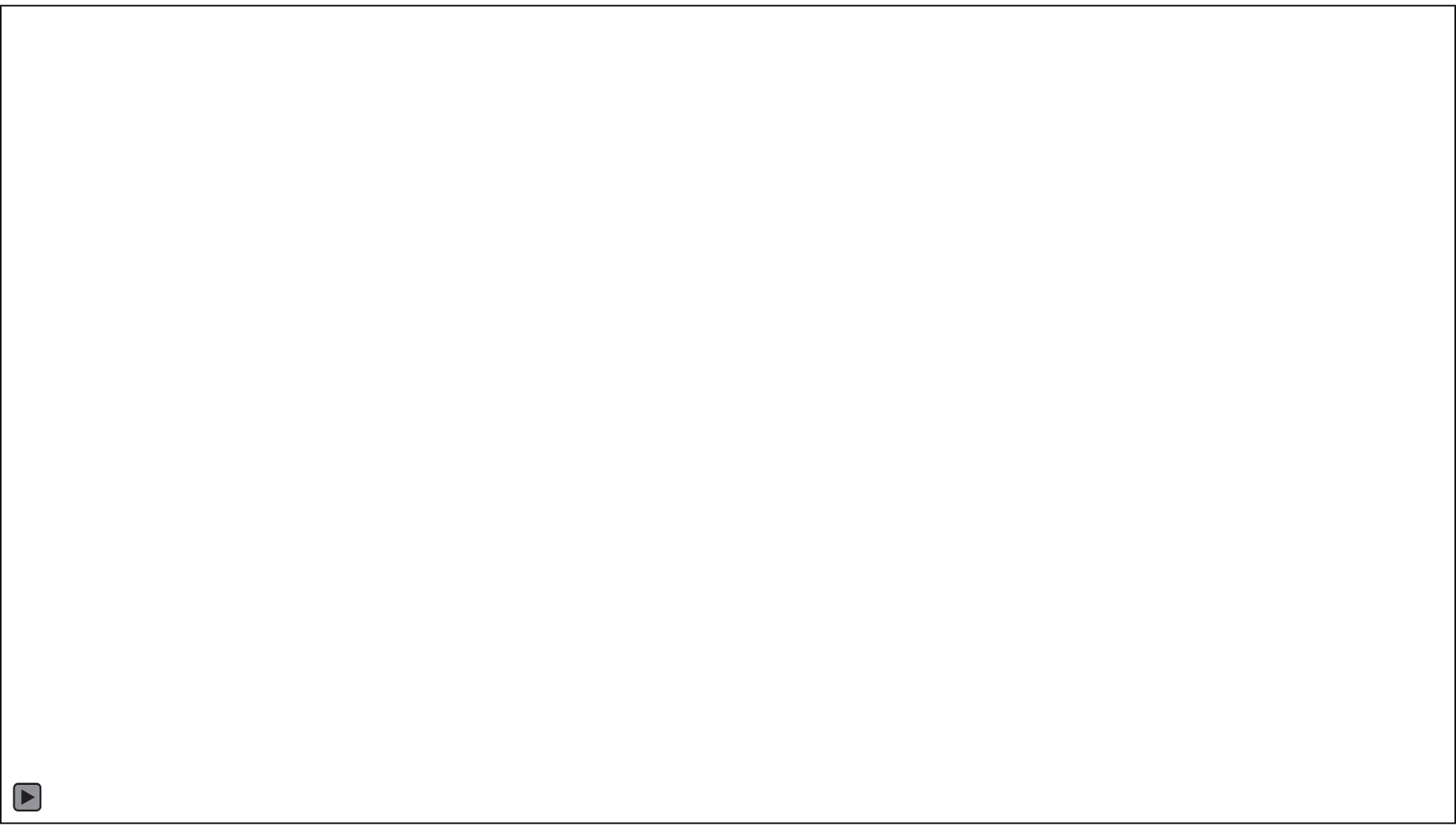
Consolida i dati di monitoraggio con TITAN4, integrando molteplici sensori e i registri delle ispezioni passate in un'unica piattaforma.

03

Modelli climatici e idraulici

Sfrutta modelli climatici ad alta precisione per la pianificazione strategica e la mitigazione dei rischi.







Competenze distintive

01	**Data-agnostic**	Integrazione di dati satellitari open e commerciali, multi-sorgente.
02	**Complessità invisibile**	La piattaforma rende invisibile la complessità.
03	**Progettata per scalare**	Insight automatizzati dal singolo asset al distretto nazionale.
04	**Integrazione industriale**	Si connette ai sistemi esistenti dell'organizzazione senza sostituirli: API, GIS, dashboard, webhook.
05	**AI applicata all'infrastruttura**	Correlazione automatica tra insight e asset. Stima dei danni, pre-assessment e best practice generate dal dato.

Partnership accademiche

Sapienza Università di Roma
Tor Vergata Università degli Studi di Roma
Roma Tre Università degli Studi
Università Iuav di Venezia
cmcc Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici
Consiglio Nazionale delle Ricerche – Area Territoriale di Ricerca di Bologna

Supportati da

esa
INVITALIA
GALAXIA – Polo Nazionale di Trasferimento Tecnologico dell'Aerospazio
cdp – CDP Venture Capital Sgr
VERTIS SGR

Membri di

- **AIPAS**
  Associazione delle Imprese per le Attività Spaziali
- **PIARC Italia**
  Comitato Nazionale Italiano dell'Associazione Mondiale della Strada

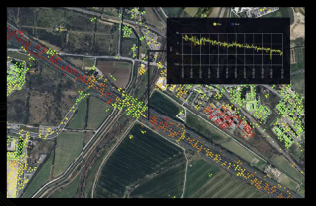
Benefici

AREA	APPROCCIO TRADIZIONALE	CON TITAN4
Monitoraggio	Discontinuo	**Continuo**
Ispezioni / rilievi	Costose o assenti	**Estese e ricorrenti**
Manutenzione	Reattiva	**Pianificata su base rischio**
Allocazione risorse	Non ottimizzata	**Prioritizzata**
Gestione rischio	Limitata visibilità	**Monitoraggio evolutivo**
Interventi	Emergenziali	**Preventivi**
Dati	Frammentati	**Integrati e tracciabili**

Applicazioni tecnologiche

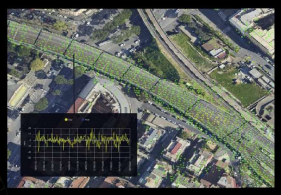
1-Monitoring of roads, bridges and viaducts

Advanced satellite monitoring of roads and bridges uses high-resolution data to detect movement and instability with pinpoint accuracy via InSAR. Integration with multispectral and thermal data helps identify critical variations, allowing for timely intervention for greater safety.



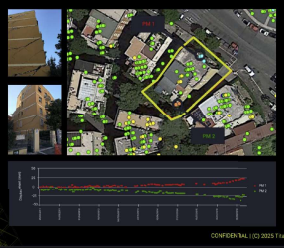
2-Railway infrastructure

Advanced monitoring of railway infrastructure with geospatial analysis and high-resolution satellite data. InSAR detects millimeter anomalies, while multi-temporal analysis and multispectral data identify critical variations. Dynamic alarm systems ensure early risk prevention.



3-Real estate assets

Advanced satellite monitoring of real estate assets with InSAR technique to detect deformations and signs of instability at an early stage. The integration of high-resolution data makes it possible to assess the risk of pre-collapse, facilitating targeted interventions and proactive management of structural safety.



4-Cultural heritage

Advanced monitoring of cultural heritage with alarm systems and geospatial analysis based on satellite data. This approach makes it possible to detect deformations and risks at an early stage, promoting the conservation and safety of the historical heritage.



8-Dams

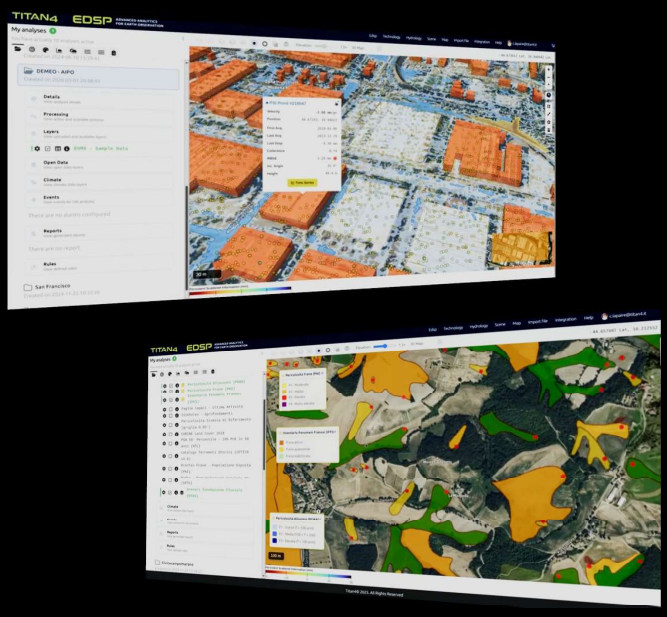
Dam monitoring using satellite and AI data uses InSAR to detect millimeter movements and multispectral imagery to detect surface damage. Artificial intelligence analyzes data to detect structural anomalies, while predictive modeling simulates risk scenarios, ensuring rapid and targeted interventions.



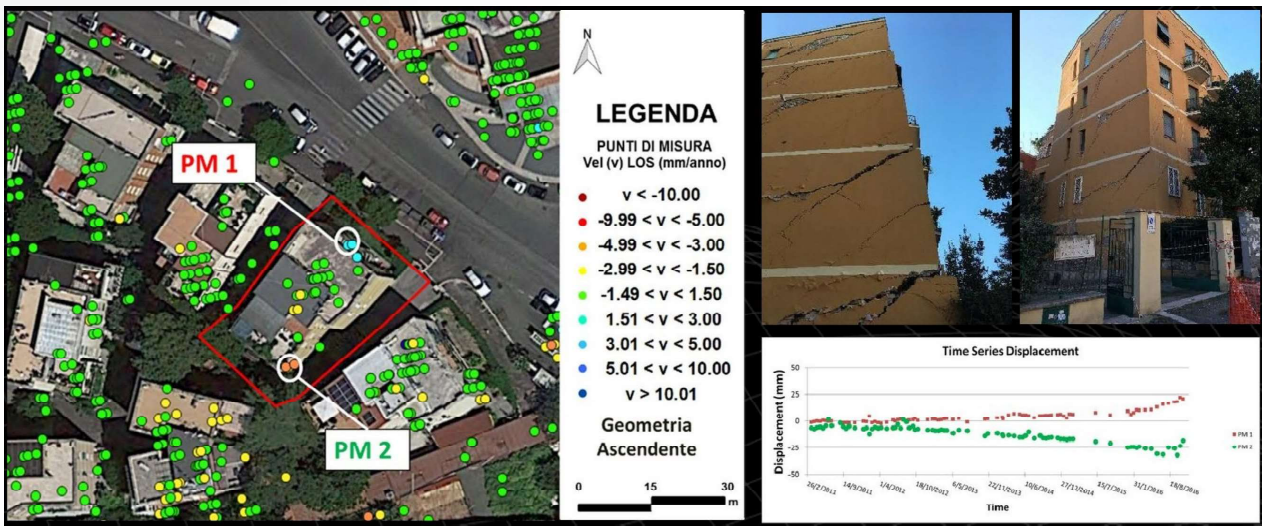
… e molte altre!

Assessment e monitoraggio

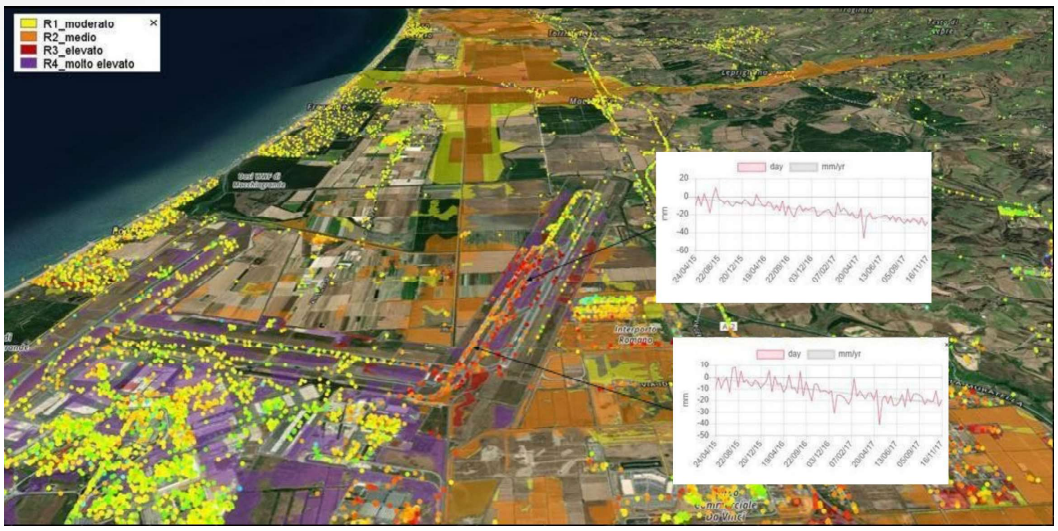
- **Rilevazione deformazioni millimetriche** del suolo e delle strutture in modo automatico
- **Identificazione di variazioni** → cantieri, interferenze, modifiche territoriali
- **Analisi ambientale e territoriale** → vegetazione, uso del suolo, condizioni superficiali
- **Modelli climatici integrati** → valutazione esposizione a rischi climatici
- **Pre-assessment e stima danno (AI)** → supporto alla classificazione del rischio e priorità di intervento



Use case: analisi predittive



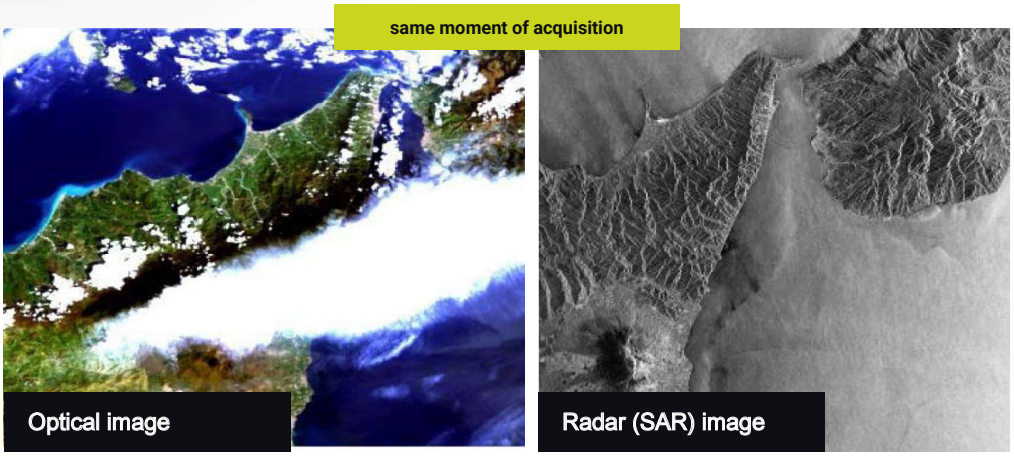
Use case: aeroporti



InSAR technology: Sensors

Difference Optical and Radar sensors

same moment of acquisition

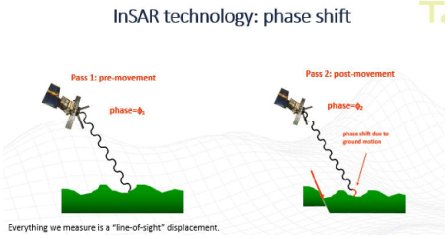


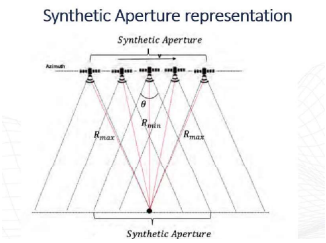
Tecnologia InSAR

Interferometric Synthetic Aperture Radar · Principi e concetti fondamentali

InSAR/A -DInSAR:

Tecnica satellitare RADAR per il monitoraggio globale degli spostamenti del terreno e delle strutture, con precisione millimetrica e serie storiche dal 1992.





- Il movimento dell'antenna sintetizza un'apertura molto più grande di quella reale.

Principali vantaggi

Monitoraggio satellitare globale, continuo e affidabile, con precisione millimetrica e migliaia di misurazioni per km², senza sensori a terra.



CONVEGNO • QUALITÀ NELL'AEROSPACE

Dalla complessità del dato alla fiducia nella misura

Un processo radar satellitare multi-stadio per misurare spostamenti del terreno e delle infrastrutture.

QUALITÀ = CATENA DI CONTROLLI

Acquisizione → Preparazione → Interferometria → AI → Misura

Il risultato dipende dalla coerenza e dall'affidabilità di ogni passaggio, non da un singolo algoritmo.

- TRACCIABILITÀ
- COERENZA DEI DATI
- CONTROLLO DEL RUMORE
- MISURA NEL TEMPO

ARCHITETTURA DEL PROCESSO

La pipeline: 7 passaggi, una sola misura

01 — Definizione missione
Area, periodo, satellite e orbita

02 — Acquisizione SAR
Serie temporale di immagini radar

03 — Qualifica del dato
Filtraggio, calibrazione, normalizzazione

04 — Interferogrammi
Coregistrazione e differenze di fase

AI

05 — Correzione opzionale
AI per il rumore troposferico

06 — Identificazione PS
AI: classificazione pixel PS / non PS

07 — Misura finale
Spostamenti dei diffusori nel tempo

QUALITÀ DEI DATI E ROBUSTEZZA DEL PROCESSO

Dove si concentra la complessità

1

Eterogeneità delle acquisizioni

Orbita, geometria, condizioni atmosferiche e metadati possono compromettere la confrontabilità.

2

Sensibilità della fase radar

Allineamento dei pixel, rumore e ambiguità di fase richiedono elaborazioni dedicate.

3

Persistenza dei bersagli

I diffusori permanenti variano con uso del suolo, morfologia e decorrelazione.

4

Affidabilità della misura

La stima finale richiede continuità temporale e corretta identificazione dei punti osservati.

INNOVAZIONE PROPOSTA NEL DOCUMENTO

Il contributo dell'AI alla qualità del risultato

RETE 1 • OPZIONALE

Riduzione del rumore troposferico

Interferogrammi + mappa troposferica → stima del rumore da sottrarre, preservando i punti stabili.

RETE 2 • CENTRALE

Riconoscimento dei diffusori permanenti

Rete encoder–decoder → mappa binaria dei pixel: 1 = PS, 0 = sfondo.

- **Obiettivo dichiarato: identificare i PS più rapidamente e con minori risorse di calcolo.**

I principi della qualità nell'Aerospace

La qualità non è soltanto precisione del sensore.

È controllo dell'intera catena: dato → algoritmo → evidenza misurabile → ripetibilità

TRE PRINCIPI DA PORTARE NEL CONFRONTO TECNICO

DATI

Selezionare e rendere confrontabili le acquisizioni

PROCESSO

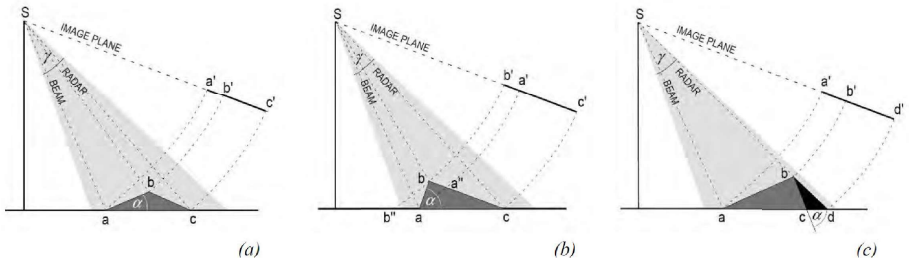
Esplicitare trasformazioni, correzioni e punti critici

RISULTATO

Coniugare obiettivi di rapidità con prestazioni da validare

Foreshortening, Layover and Shadowing

Distorsioni geometriche nelle immagini SAR



Foreshortening

compressione o deformazione apparente del terreno nell'immagine radar, dovuta alla sua pendenza.

Layover

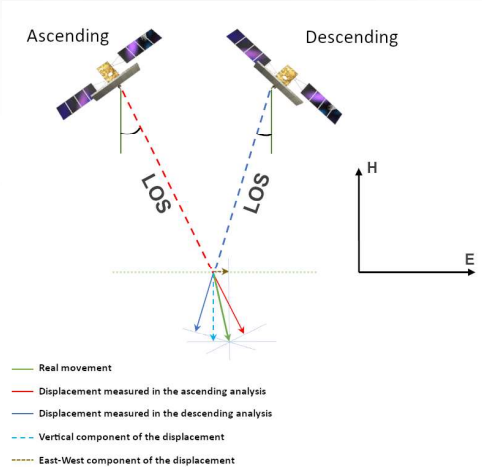
sovrapposizione di elementi a quote diverse quando la pendenza del terreno supera l'angolo di incidenza del radar.

Shadowing

presenza di aree non illuminate dal radar perché schermate da rilievi o ostacoli, con conseguente assenza di segnale.

Radar – Linea di vista

(Line of Sight - LOS)



Combinando il vettore, la traiettoria (path) e l'angolo di incidenza, è possibile ottenere lo spostamento verticale e lo spostamento in direzione Est -Ovest.

01 / 02

La qualità nasce lungo tutta la catena InSAR

La qualità si costruisce lungo tutta la catena acquisizione dei dati satellitari, elaborazione dati raw, creazione interferogrammi e selezione dei PS

01 DATI SENTINEL-1 SLC

Selezione e acquisizione

Area, periodo e orbita di acquisizione
Ricerca in archivio e download

CONTROLLO **Copertura e continuità dati**

→

02

Preparazione interferometrica

Scelta master, sub-swath e burst
Coregistrazione, interferogrammi

CONTROLLO **Geometria e coerenza input**

→

03

Analisi PS -InSAR

Selezione dei diffusori permanenti
Velocità LOS e serie temporali

CONTROLLO **Correzioni e residui di fase**

OUTPUT **Mappe di velocità LOS · serie temporali per punto · risultati CSV / GIS**

Stato descritto nel report (2020): i tre moduli erano sviluppati, ma non ancora integrati in un unico flusso automatico.
Fonte: TITAN4, Processing Chain Development and Validation – Report 1, 27/11/2020, pp. 3–7.

02 / 02

La qualità si dimostra con la validazione

Dodici casi di test: prestazioni osservate, anomalie risolte e limiti documentati alla fine del processo di incubazione in ESA/BIC LAZIO

12
casi di validazione
Aree, periodi e orbite differenti

4 / 12
senza interruzioni
Completati al primo tentativo

10 / 12
completati dopo correzioni
Recupero degli errori rilevati

Evidenze di affidabilità

- Confronti coerenti con studi esterni (Londra, Campi Flegrei, Messico)
- Riproduzione dei risultati pubblicati nel caso Gambia
- Serie temporali e dati esportabili per verifiche successive

Criticità e lezioni apprese

- Disponibilità archivio satellitare: principale fonte di anomalie
- Integrazione completa e gestione multi-subswath ancora da completare
- Residui atmosferici: interpretazione e controlli da parte di esperti

MESSAGGIO CHIAVE

Qualità = verifiche ripetibili + confronti indipendenti + gestione trasparente dei limiti

Fonte: TITAN4, Processing Chain Development and Validation – Report 1, 27/11/2020, pp. 8–9, 14–20, 22–23.



L'impiego delle reti neurali nell'elaborazione dei dati radar satellitari

consente di automatizzare due operazioni complesse: la correzione dei disturbi atmosferici e l'identificazione dei punti di misura stabili.

CATENA DI ELABORAZIONE

01 → IMMAGINI SAR
Serie temporali da satellite

02 → INTERFEROGRAMMI
Selezione, calibrazione e differenza di fase

03 → RETE 1 · OPZ.
È una rete neurale progettata per riconoscere e rimuovere i disturbi troposferici dagli interferogrammi
+ mappa troposferica

04 → RETE 2 · CORE
È una rete neurale di tipo Encoder–Decoder, progettata per identificare automaticamente i punti radar stabili nel tempo

05 → SPOSTAMENTI
Serie temporali dei diffusori permanenti

QUALITÀ BY DESIGN

Dati coerenti
filtraggio + calibrazione

Segnale preservato
correzione del rumore

Punti affidabili
segmentazione dei PS

Fonte: descrizione dell'invenzione TITAN4, pp. 3–7, 9–13

Validare una rete neurale nel settore Aerospace

Nel settore Aerospace, l'efficacia di una rete neurale non può essere valutata soltanto sulla base delle sue prestazioni durante l'addestramento.
È fondamentale verificarne l'accuratezza, la robustezza e la riproducibilità su dati indipendenti, confrontando i risultati con misure di riferimento e controllando che l'algoritmo non introduca errori nelle misurazioni

NELLA DESCRIZIONE: COME SI ADDESTRANO

01 · CNN TROPOSFERICA

Rumore ridotto, informazione preservata

Training su interferogrammi rumorosi e corretti. Funzione di perdita basata sulla fase e penalità sui punti stabili.

02 · SEGMENTAZIONE PS

Riconoscimento dei punti persistenti

Training su interferogrammi storici o modificati artificialmente. Output binario: PS = 1, sfondo = 0.

PER LA VALIDAZIONE: COSA DIMOSTRARE

01	ACCURATEZZA	PS: precisione, richiamo e F1/IoU. CNN: errore di fase e stabilità dei punti di riferimento.
02	GENERALIZZAZIONE	Test indipendenti su nuove aree, periodi e geometrie di acquisizione.
03	ROBUSTEZZA	Prestazioni con rumore, neve, vegetazione e diversa densità di diffusori.
04	RIPRODUCIBILITÀ	Dataset, versioni del modello, parametri, log, tempi e risorse tracciabili.

MESSAGGIO CHIAVE

Un modello promettente diventa affidabile solo quando i suoi limiti sono dimostrati.

Training: fonte TITAN4, pp. 4–5 e 11–13 | Metriche: proposta di validazione, non risultati documentati

QUALITÀ E TRACCIABILITÀ NELLE ANALISI DINSAR

Dalla misura satellitare alla decisione

Il DInSAR stima lo spostamento lungo la linea di vista del satellite (LOS). Per usare la misura, serve sapere come è stata ottenuta e quanto è affidabile.

1 MISURA
Scegli le acquisizioni e fissa il punto e la data di riferimento.

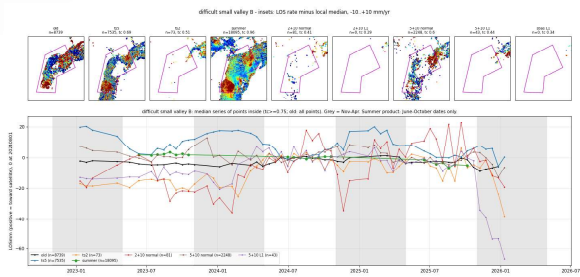
2 VERIFICA
Controlla copertura e serie nel tempo. Confronta con il GNSS sulla stessa LOS.

3 DECIDI
Approfondisci i segnali che reggono ai controlli. Segnala le zone incerte.

Che cosa annotare per poter rifare il controllo
Date usate ed escluse (con il motivo), punto e data di riferimento, versione e impostazioni dell'elaborazione, confronto GNSS e limiti riscontrati.

TITAN4

Stessa valle, risultati diversi



Valle B. Le fasce grigie indicano i mesi da novembre ad aprile.

668 → 2.248

Una sola acquisizione.
Nella variante 5+10 normal, escludere il 10 marzo 2024 ha portato i punti validi nella valle B da 668 a 2.248.

≈ 15 mm

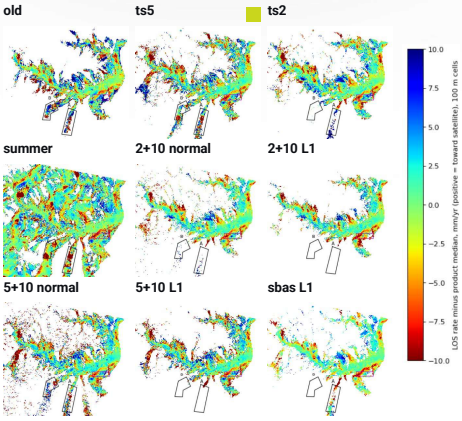
Un segnale che segue le stagioni.
Nella serie blu (ts5), la differenza tra inverno ed estate è di circa 15 mm. La neve può contribuire a questo scarto.

Fonte: report delle varianti DInSAR di Aosta, pp. 7-8 e 10.

REPORT DELLE VARIANTI DINSAR · VALLE D'AOSTA

Stesso stack, nove elaborazioni a confronto

SAOCOM-1 discendente, 61 acquisizioni (gen 2023 – gen 2026), stesso riferimento: cambiano rete di coppie, date escluse e inversione.



Velocità LOS meno la mediana del prodotto (mm/anno, celle da 100 m). In nero le valli difficili A e B.

ELABORAZIONE	PUNTI TC ≥ 0,75	CELLE COPERTE*	VALLI A / B
old (15 m)	294.737	100%	8.689 / 8.739
ts5	**303.284**	**88,7%**	**8.809 / 7.535**
ts2	253.044	83,2%	1.380 / 73
summer	819.148	97,5%	20.837 / 18.095
2+10 normal	210.059	75,7%	234 / 81
2+10 L1	196.022	71,5%	0 / 0
5+10 normal	283.748	86,4%	6.073 / 2.248
5+10 L1	244.364	80,2%	172 / 43
sbas L1	165.933	67,5%	3.039 / 0

* Quota delle celle da 100 m del prodotto precedente (old) coperte dalla nuova elaborazione.

ESITO DEL CONFRONTO

1 ts5 come prodotto. Migliore copertura, unica elaborazione su tutto l'anno che conserva entrambe le valli difficili, miglior accordo con il GNSS.

2 5+10 normal come alternativa. Copertura vicina, ma nella valle B ha il 30% dei punti di ts5.

3 summer solo per colmare lacune. Mappe pulite, ma 21 date tra giugno e ottobre: non è una serie temporale completa.

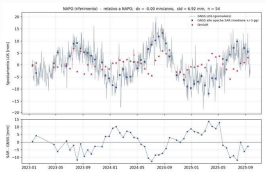
4 Sconsigliati: ts2, 2+10, 5+10 L1, sbas L1.

CONFRONTO GNSS E INSAR

Basta cambiare il riferimento

A NAPO lo scarto di velocità cambia segno passando da TAI1 a FRUL. Il riquadro in ogni grafico evidenzia il tratto da osservare.

Sopra · DInSAR in rosso, GNSS alle date radar in blu. **Sotto** · Differenza DInSAR meno GNSS. La linea orizzontale indica lo zero. Confronta gli scarti tenendo conto delle diverse scale.

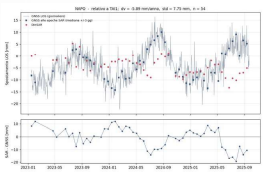


NAPO su sé stesso

≈ 0,00 mm/anno

PIÙ CONVINCENTE SUL TREND

Restano oscillazioni attorno allo zero

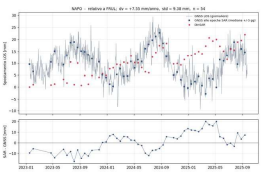


NAPO su TAI1

−5,89 mm/anno

DA VERIFICARE

Scarti negativi nella parte finale

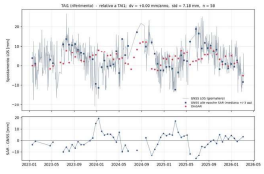


NAPO su FRUL

+7,55 mm/anno

VERIFICA PRIORITARIA

Scarto fino a circa +20 mm

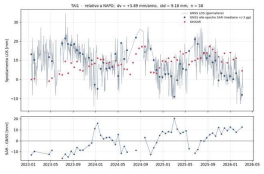


TAI1 su sé stesso

≈ 0,00 mm/anno

PIÙ CONVINCENTE SUL TREND

Scarti finali vicini allo zero

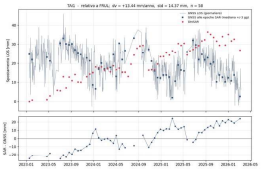


TAI1 su NAPO

+5,89 mm/anno

DA VERIFICARE

Scarti positivi nella parte finale



TAI1 su FRUL

+13,44 mm/anno

VERIFICA PRIORITARIA

Scarti finali fino a circa +25 mm

Controllo indipendente. I due casi su sé stessi hanno lo scarto di velocità più piccolo. Sono controlli interni. Per confermare il dato, verifica su un riferimento stabile e indipendente e confronta direzione di misura, date e andamento degli scarti.

Nell'Aerospace, la qualità del risultato non dipende soltanto dalla tecnologia, ma dalla accuratezza, generalizzazione(*), robustezza, riproducibilità

Non basta misurare un millimetro.
Bisogna dimostrare perché quel millimetro è credibile

(*) Per generalizzazione, nell'ambito dell'intelligenza artificiale applicata all'InSAR, intendo la capacità di un modello AI di fornire risultati affidabili anche su dati, territori e condizioni differenti da quelli utilizzati durante l'addestramento