

Osservare la Terra dallo spazio per affrontare le sfide ambientali: ricerca e innovazione al CNR-IREA

Dai campi coltivati alle aree a rischio, l'IREA di Bari usa i dati satellitari per la sostenibilità in agricoltura e per monitorare l'ambiente in modo innovativo.

Agricoltura • Sicurezza idrica e alimentare • Telerilevamento ambientale

L'approccio dell'IREA

La sede secondaria di Bari dell'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA) [1] del CNR è stata istituita nel 2018, a seguito dell'ingresso di un gruppo di nove ricercatori, principalmente fisici e informatici, e quattro tecnici con competenze affini.

Le attività della sede si concentrano sullo sviluppo di metodologie avanzate per l'elaborazione, l'interpretazione e l'integrazione di dati di osservazione della Terra (OT) acquisiti da sensori ottici e radar ad alta risoluzione. Questi dati sono fondamentali per il monitoraggio dell'ambiente e del territorio e per la stima delle variabili fisiche, chimiche e biologiche che ne caratterizzano la condizione. Inoltre, comprendere lo stato e l'evoluzione del nostro ambiente – in termini di variabili climatiche, stato del territorio e degli ecosistemi – è essenziale per orientare le politiche pubbliche e valutarne l'efficacia nella protezione ambientale.

L'IREA adotta un approccio integrato che sfrutta in modo sinergico dati di telerilevamento acquisiti da sensori su piattaforme aeree e satellitari, misure *in situ*, reti di sensori distribuite sul territorio e osservazioni di prossimità, ad esempio droni (Velivoli senza pilota o UAV). Tale approccio beneficia quindi delle missioni

Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente

Dipartimento di Ingegneria, ICT e Tecnologie per l'Energia e i Trasporti

satellitari del programma europeo Copernicus e di quelle nazionali promosse dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), come COSMO-Sky-Med e PRISMA, che hanno potenziato l'osservazione da remo-

to, consentendo la stima ad alta risoluzione di variabili bio-geofisiche relative al suolo, alla vegetazione, all'atmosfera e all'ambiente marino. Le informazioni derivate sono poi assimilate in modelli previsionali che forniscono supporto allo sviluppo sostenibile.

Nello specifico, le attività di ricerca della sede IREA di Bari si avvalgono della modellizzazione fisica e dell'analisi statistica di serie temporali di dati telerilevati e di misure *in situ*. Particolare attenzione è rivolta alla gestione di infrastrutture geospaziali per l'accesso efficiente alle informazioni ambientali.

Le competenze multidisciplinari presenti all'interno dell'Istituto permettono di affrontare tematiche complesse:

- analisi e previsione del ciclo idrologico, con particolare attenzione alla disponibilità e gestione delle risorse idriche;
- monitoraggio dello stato del suolo e della vegetazione e valutazione della sostenibilità delle pratiche agricole;

- valutazione dell'impatto di eventi idro-meteorologici estremi, come frane, alluvioni e siccità, in relazione al rischio idrogeologico di origine naturale o antropica.

Le attività si sviluppano su scale spaziali che vanno dal livello regionale a quello continentale, secondo un approccio di osservazione integrata e multiscala.

In tale ambito, la sede ha due infrastrutture strategiche:

- il Laboratorio di Telerilevamento, dotato di una rete di calcolo e archiviazione per l'elaborazione delle immagini satellitari ottiche e radar ad apertura sintetica (SAR), costituita da 10 server multiprocessore e *Network Attached Storage* per un totale di circa 1 PB di memoria, 2 TB di RAM e 460 core virtuali di elaborazione;
- il Laboratorio di misure di parametri Ambientali per il Telerilevamento (LAIT), dedicato alla raccolta e analisi delle misure ambientali *in situ*, come spettri di radiazione solare riflessa, livelli di *Photosynthetically Active Radiation*, indici di copertura fogliare (LAI), rugosità e contenuto di acqua del terreno e della vegetazione.

Inoltre, l'IREA gestisce reti permanenti di sensori distribuiti nel Tavoliere delle Puglie, che misurano umidità e temperatura del suolo a varie profondità, nonché una stazione della rete mondiale AERONET, che rileva la profondità ottica degli aerosol. Questi dati sono utilizzati per la calibrazione e validazione di mappe tematiche derivate da immagini satellitari, acquisite da costellazioni nazionali e internazionali, come COSMO-SkyMED, Sentinel-1 e SAOCOM.

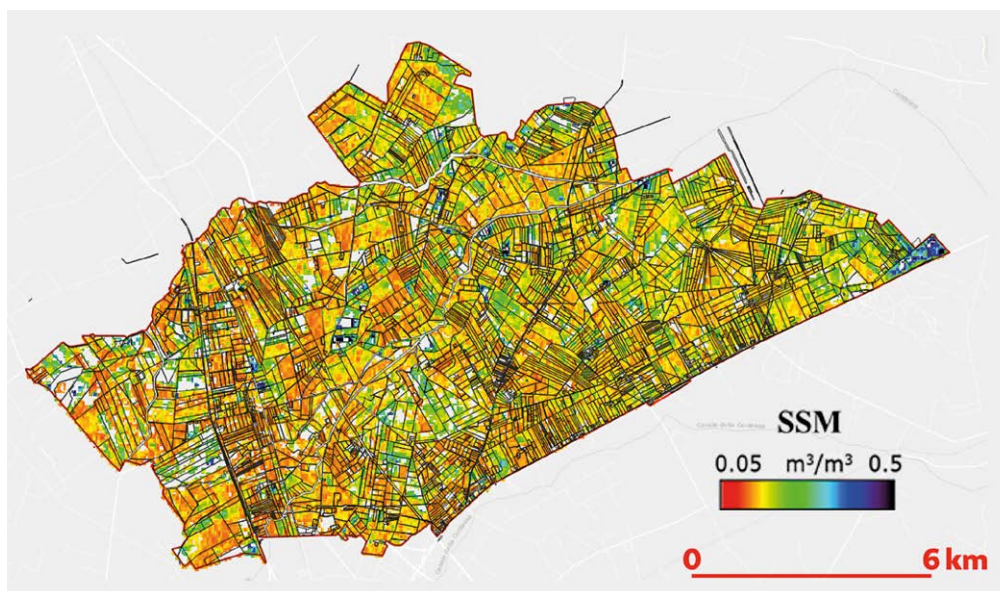
Acqua nel suolo e piante

In un contesto di crescente scarsità d'acqua, soprattutto nel bacino del Mediterraneo, migliorare la gestione dell'irrigazione è essenziale per la sicurezza idrica e alimentare. L'agricoltura, infatti, utilizza circa il 70% delle risorse idriche disponibili,

e il cambiamento climatico ne aumenterà ulteriormente il fabbisogno, aggravando la situazione con temperature più elevate e siccità prolungate.

Il contributo dell'IREA di Bari a questa sfida consiste nello sviluppo di metodi basati su osservazioni satellitari per monitorare e stimare i bisogni irrigui, nonché pianificarne le risorse [2]. Una variabile chiave è l'umidità del suolo superficiale (SSM). A differenza degli indici di vegetazione, che rilevano l'efficacia delle strategie di irrigazione dopo la crescita delle piante, la SSM – ottenuta da satelliti radar, come quelli della costellazione europea Sentinel-1 – consente di individuare i campi irrigati già nelle fasi iniziali, subito dopo la semina e prima ancora dell'emergenza delle piante.

Un esempio concreto è rappresentato dal progetto TETI, finanziato da ASI, che vede la collaborazione di IREA, Politecnico di Bari e CREA, e che prevede attività presso il distretto irriguo del Fortore (Foggia), gestito dal Consorzio di Bonifica delle Capitanata. TETI mira a prevedere i bisogni irrigui in ambienti semi-aridi grazie all'integrazione di dati satellitari, meteo e modelli idrologici e colturali per fornire mappe previsionali del fabbisogno idrico a scala di campo. Lo studio utilizza dati da diversi satelliti SAR e ottici e dal servizio meteorologico Copernicus (C3S). Per le coltivazioni di pomodoro, i consumi d'acqua irrigua stimati sono di 600 m³/ha, vicini al valore misurato di 500 m³/ha.



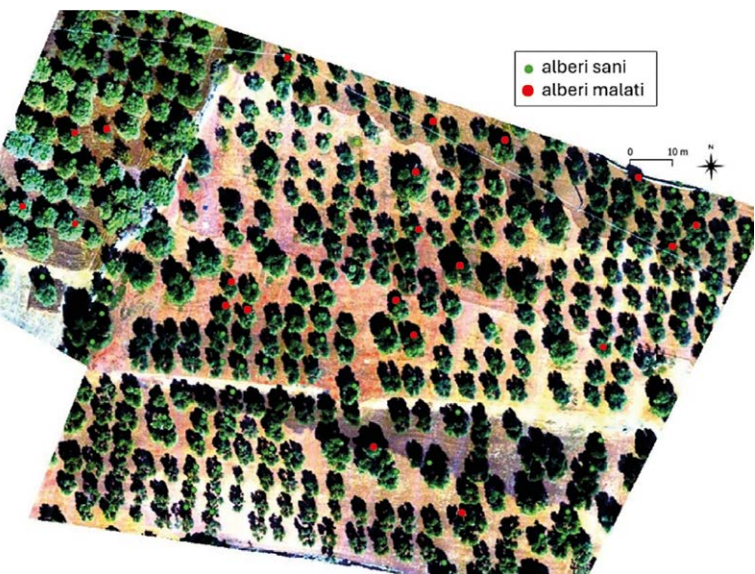
Mapa di umidità del suolo del 25 maggio 2023 ricavata da dati satellitari nel distretto irriguo del Fortore (Foggia). Il blu indica i campi più umidi, il rosso i campi più secchi.

Un altro ambito di ricerca riguarda il contenuto d'acqua nella vegetazione (VWC), indicatore dello stato di salute delle piante. Stimare il VWC consente di ottimizzare l'irrigazione, monitorare la siccità e pianificare il momento giusto per la raccolta. L'IREA ha sviluppato un metodo per stimare il VWC a partire dai dati radar di Sentinel-1, trasformandoli in serie temporali che seguono l'andamento della crescita delle colture. I risultati sono promettenti e sono in corso perfezionamenti per migliorarne l'accuratezza.

Salute delle colture e suolo

La salute del suolo è fondamentale per contrastare gli effetti del cambiamento climatico. Per questo, l'Unione Europea promuove pratiche agricole più sostenibili come l'agricoltura conservativa, che mira alla riduzione dell'erosione, delle emissioni di CO₂ e della perdita di biodiversità. Tuttavia, circa il 66% dei terreni coltivati in Europa è ancora gestito con tecniche tradizionali come l'aratura profonda. Per valutare la diffusione delle pratiche sostenibili, servono strumenti in grado di osservare grandi aree in tempi rapidi; in tale ambito, le osservazioni da satellite offrono una soluzione efficace per rilevare i cambiamenti nel suolo e nei residui colturali.

Nello specifico, l'IREA ha sviluppato un metodo per mappare le lavorazioni agricole ad alta risoluzione (circa 100 metri), utilizzando i satelliti europei Sentinel-1 (radar) e Sentinel-2 (ottico). Il metodo si basa su due fasi: nella prima si identificano i campi nudi



Composizione RGB di 3 bande di un'immagine iperspettrale acquisita nell'area agricola di Gorgnòlo (Brindisi) con l'etichetta associata ad alcuni alberi (Infetto/Sano).

o con poca vegetazione, analizzando poi i dati radar per discriminare le variazioni della superficie dovute alle lavorazioni da quelle causate dall'umidità. La chiave è utilizzare un approccio multiscala; infatti, le lavorazioni creano variazioni locali, mentre la pioggia influisce su aree più ampie. Il metodo è stato testato con successo nel Tavoliere delle Puglie e nell'area di Castilla y León (Spagna), dove sono state ottenute mappe di campi arati o rullati tra due successive acquisizioni radar. Il prossimo passo sarà quello di estendere il metodo a livello nazionale e continentale.

Diagnosi precoce via satellite

Le malattie delle piante rappresentano una minaccia globale per l'agricoltura, riducendo qualità e quantità dei raccolti. Riconoscerle in anticipo è fondamentale, soprattutto quando non esistono cure e l'unico modo per fermarne la diffusione è eliminare le piante infette. I metodi tradizionali, come l'ispezione visiva o i test di laboratorio, sono costosi e difficili da applicare su grandi aree. Per superare questi limiti, l'IREA sta lavorando allo sviluppo di strategie che impiegano dati multispettrali, iperspettrali e termici acquisiti da sensori montati su aerei e droni, elaborati con tecniche di intelligenza artificiale per identificare le piante malate.

Un esempio concreto è lo studio sulla Xylella fastidiosa, un batterio che ha colpito duramente gli ulivi in Puglia. Tra il 2021 e il 2023, nell'ambito del progetto "Remote Early Detection of Xylella", l'IREA ha condotto diverse campagne di acquisizione dati con diverse risoluzioni sul territorio regionale, per seguire l'evoluzione della malattia. I dati raccolti sono stati successivamente elaborati con algoritmi di intelligenza artificiale per l'identificazione automatica delle piante infette su larga scala [3]. In parallelo, i ricercatori stanno identificando le caratteristiche spettrali o gli indici di vegetazione più strettamente correlati alla Xylella fastidiosa, per ridurre i dati da elaborare, comprendere meglio la diffusione del patogeno e progettare sensori specifici per il monitoraggio.

Rischi naturali e antropici

Le frane e le alluvioni rappresentano due tra i principali rischi ambientali in Italia, con impatti crescenti su popolazioni, infrastrutture e attività economiche. L'interferometria radar satellitare multitemporale (MTInSAR) consente di rilevare spostamenti del suolo su vaste aree e di monitorare l'evoluzione di

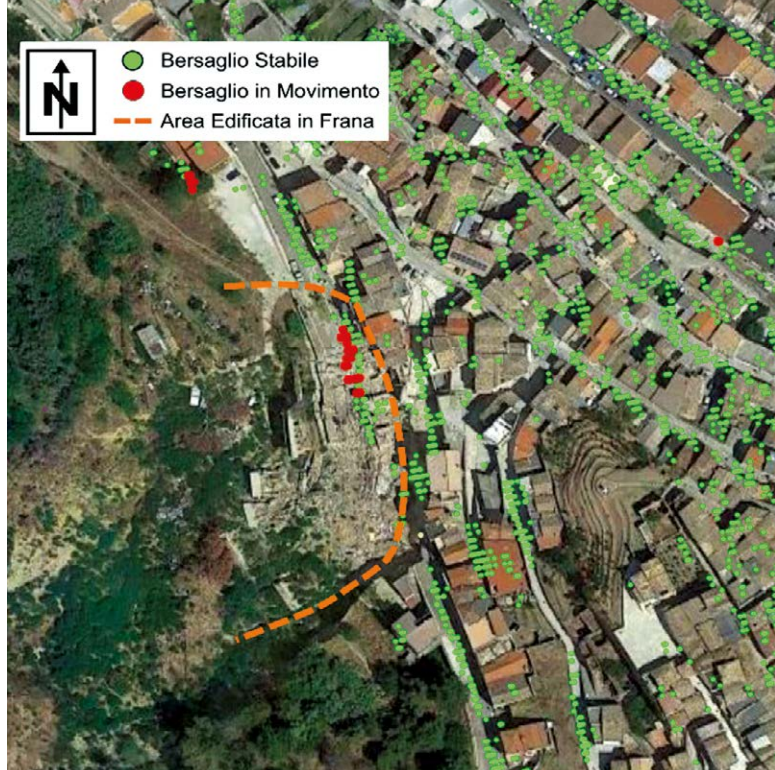
instabilità naturali e di infrastrutture. Tuttavia, l'analisi dettagliata delle serie temporali di spostamento richiede l'ispezione supervisionata di milioni di punti. Per semplificare questo compito complesso e dispendioso, i ricercatori IREA hanno sviluppato algoritmi in grado di processare serie di immagini radar satellitari al fine di identificare automaticamente segnali di allerta di frane, mediante la classificazione delle aree in base al loro comportamento cinematico. Questi metodi sono in grado di evidenziare fenomeni – come accelerazioni o salti improvvisi – spesso precursori di frane. Un caso emblematico è quello di Pomarico (MT), dove una frana ha causato danni a edifici e infrastrutture. L'analisi MTInSAR ha permesso di individuare segnali precoci, in termini di deformazioni, due anni prima del crollo in un'area classificata a rischio medio. Questi risultati dimostrano il potenziale del telerilevamento per la prevenzione e la gestione del rischio [4].

Le alluvioni, aggravate dai cambiamenti climatici, sono monitorate attraverso l'analisi di immagini radar e ottiche ad alta risoluzione. L'IREA utilizza serie temporali di dati SAR per individuare le aree allagate, anche con nuvole o scarsa visibilità. Sulla base di un approccio innovativo, è possibile distinguere variazioni lente del suolo da eventi alluvionali improvvisi attraverso l'uso delle serie temporali SAR. Questo metodo è stato testato su diverse aree soggette a inondazione: l'integrazione con dati topografici, climatici e di copertura del suolo ha permesso di identificare con precisione le zone inondate, validando i risultati con dati indipendenti. Queste tecniche, in continua evoluzione, rappresentano strumenti fondamentali per il monitoraggio e la gestione delle crisi dovute a eventi climatici estremi.

Misure in situ di riferimento

Per garantire l'affidabilità delle analisi satellitari, è fondamentale disporre di misure a terra; questo principio è stato recentemente ribadito anche nelle attività europee di calibrazione e validazione del programma europeo Copernicus. Nel Tavoliere delle Puglie, l'IREA ha attivato una rete di monitoraggio idrologico, oggi considerata un riferimento internazionale per la validazione di mappe di umidità del

suolo derivate da dati satellitari. Inoltre, il sito supporta studi su irrigazione, colture e rischio ambientale, ed è parte dell'iniziativa JECAM.



Mappa del tasso di spostamento lungo la linea di vista sulla frana di Pomarico (Matera), derivata dall'elaborazione dei dati COSMO-SkyMed.

Conclusioni

Le attività della sede IREA-CNR di Bari dimostrano come l'osservazione della Terra possa offrire strumenti per affrontare sfide ambientali complesse, dalla gestione sostenibile dell'acqua e del suolo, al monitoraggio delle colture e dei rischi naturali. L'integrazione tra osservazioni satellitari, modelli fisici e intelligenza artificiale consente di ottenere informazioni utili per decisioni strategiche in ambito agricolo, ambientale e di protezione civile.

Guardando in prospettiva, l'obiettivo è rendere queste tecnologie sempre più accessibili e operative, ampliando le collaborazioni con enti locali, consorzi irrigui e istituzioni pubbliche. In un contesto di cambiamento climatico e crescente pressione sulle risorse naturali, la ricerca condotta a Bari è un esempio virtuoso di innovazione per la sostenibilità ambientale.

Riferimenti bibliografici

- [1] M. RASULO (a cura di), *IREA for societal challenges*, CNR Edizioni, Roma 2024.
- [2] A. BALENZANO *et al.*, "Sentinel-1 and Sentinel-2 Data to Detect Irrigation Events: Riiza Irrigation District (Spain) Case Study", *Water*, 14, 19, 2022.
- [3] A. D'ADDABBO *et al.*, "Toward an Operational System for Automatically Detecting Xylella fastidiosa in Olive Groves Based on Hyperspectral and Thermal Remote Sensing Data", *Remote Sensing*, 17, 8, 2025.
- [4] F. BOVENGA *et al.*, "Assessing the Potential of Long, Multi-Temporal SAR Interferometry Time Series for Slope Instability Monitoring: Two Case Studies in Southern Italy", *Remote Sensing*, 14, 7, 2022.