

## SERVIZI DI MONITORAGGIO TECNOLOGICAMENTE SPERIMENTATI

di Antonio Monteleone, Nicole Dore,  
Luca Benenati, Lorenzo Bernardi

I Beni Culturali, siano essi archeologici, architettonici o paesaggistici, costituiscono un patrimonio di inestimabile valore che è necessario tutelare, preservare e valorizzare. L'Italia è tra i principali detentori di tale tipo di beni e la loro eccezionale importanza è ampiamente riconosciuta anche dall'UNESCO, nella cui lista sono presenti 53 siti italiani.



Fig. 1 - Il workflow di ArTeK.

Il patrimonio culturale è però in molti casi estremamente fragile e continuamente esposto a molteplici fattori di degrado che ne minacciano l'incolumità, anche a causa della mancanza di adeguate forme di conservazione preventiva.

Tra i fenomeni che rappresentano un rischio di potenziale degrado dei beni si possono annoverare i fenomeni di natura idrogeologica, quali calamità naturali (ad es. i terremoti), deformazioni del suolo (con ripercussioni sulla staticità delle strutture), fenomeni atmosferici particolarmente violenti e i cambiamenti climatici, nonché i fenomeni di natura antropica quali l'urbanizzazione non controllata, l'inquinamento e i massicci flussi turistici che rappresentano un serio problema per i beni se non mitigati attraverso l'adozione di appropriate misure di controllo. A tal proposito un rapporto dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), pubblicato nel 2015, fornisce un quadro ben preciso, quanto critico, del rischio idrogeologico dei beni in Italia. In tale rapporto si parla, infatti, di circa 29.000 monumenti compresi in uno scenario di alluvione considerato a medio rischio, mentre 40.000 sono compresi in uno scenario soggetto ad eventi meno probabili ma ben più gravi.

Le attuali politiche di conservazione dei beni, nella maggior parte dei casi, sono oggi affidate a grandi interventi di restauro e trascurano invece investimenti nella conservazione preventiva.

L'esecuzione, su base sistematica e continua, di attività di

monitoraggio del territorio e dei beni, abilitata dalle nuove tecnologie di telerilevamento, fornirebbe una risposta efficace alle crescenti necessità di salvaguardia del settore, apportando benefici conoscitivi, conservativi ed economici utili ad una migliore e più attenta gestione del patrimonio culturale. L'innovazione tecnologica (nuove tecniche e sistemi di rilevamento e monitoraggio), unita a quella di processo (nuovi approcci di gestione e prevenzione), permetterebbe inoltre di ridurre, ritardare e prevenire il degrado, contribuendo, allo stesso tempo, alla diminuzione del costo degli interventi di manutenzione e restauro.

La condizione di instabilità di molti dei nostri beni, ampiamente evidenziata dal rapporto ISPRA sopra citato, e la necessità di prevenire il deterioramento e l'insorgere di danni, rendono opportuna la creazione di un servizio integrato, ad oggi mancante, che offra strumenti in grado di valutare, costantemente e su larga scala, lo "stato di salute" e il rischio di degrado di siti ritenuti di interesse culturale. La conoscenza della precarietà della condizione dei beni e delle minacce del territorio, permettono infatti di mettere in atto azioni di conservazione preventiva, garantendo una efficace salvaguardia e un considerevole risparmio economico nel lungo periodo.

#### IL PROGETTO ArTeK

È nel complesso quadro appena descritto che si inserisce il progetto ArTeK (*Satellite enabled Services for Preservation*

and Valorisation of Cultural Heritage), un progetto sviluppato nell'ambito del programma "Business Applications" dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), cofinanziato e supportato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e le cui attività termineranno alla fine del 2018.

ArTeK parte dall'esperienza acquisita nell'ambito di precedenti progetti che hanno permesso alla NAIS di mettere a punto procedure, di sviluppare prototipi di catene di elaborazione di dati satellitari e di individuare, sempre di più, le specifiche necessità degli utenti finali. Il crescente sviluppo delle tecnologie satellitari ha infatti permesso di realizzare, negli ultimi anni, progetti aventi come focus la sperimentazione sul campo di servizi innovativi a supporto della salvaguardia del patrimonio culturale. È dunque anche attraverso progetti come WHERE (World HEritage monitoring by REmote sensing, progetto cofinanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) nell'ambito del Secondo Bando PMI Tematica "Osservazione della Terra") e VIDEOR (progetto autofinanziato con meccanismi di accesso al credito agevolato del Ministero dello Sviluppo Economico) che è stato possibile arrivare alla proposizione dei maturi servizi di ArTeK. Ulteriori progetti, quali SIBILLA (Fondo per la Crescita Sostenibile - Bando "HORIZON 2020" PON I&C 2014-2020), permetteranno, nell'immediato futuro, di estendere il portfolio di prodotti ArTeK con indagini rilevanti per la salvaguardia di siti sommersi, inizialmente applicate e sperimentate sul parco archeologico sommerso di Baia.

ArTeK si propone come uno strumento avanzato, rivolto ai responsabili dei siti, a supporto di diversi aspetti, quali:

- ▶ la **salvaguardia**, il servizio *core*, attraverso un **monitoraggio continuo** basato sull'analisi di dati acquisiti su più livelli (dal satellite ai sensori *in loco*);
- ▶ la **gestione**, attraverso la messa in opera di meccanismi di controllo del sito e analisi del flusso di visitatori (controllo di attività atipiche nel sito mediante recinzioni virtuali, analisi dei tempi di sosta presso ciascun monumento da cui derivare statistiche sul comportamento e sulle preferenze dei visitatori, ad es. utili a valorizzare siti archeologici di notevoli dimensioni);
- ▶ e la **valorizzazione**, attraverso la messa in opera di strumenti avanzati di fruizione, sia in modalità immersiva, su postazione fissa, che su dispositivi mobili per un supporto al turismo culturale all'interno del sito.

La piattaforma ArTeK permette l'erogazione di servizi specifici nel settore dei Beni Culturali basati sull'utilizzo congiunto di tecnologie spaziali (Osservazione della Terra, Telecomunicazione, Navigazione) e sui recenti progressi nel settore ICT, in particolare nelle tecnologie e nelle applicazioni web orientate ai servizi basate su piattaforme "cloud". Grazie all'utilizzo di tali tecnologie sono offerte nuove possibilità di servizi innovativi, efficaci e integrati per monitorare, gestire e valorizzare i beni culturali (Fig. 1).

Più in dettaglio, ArTeK utilizza in modo integrato diverse tecnologie, qui di seguito riportate:

- i) **tecnologie di osservazione della terra da sensori satellitari (SAT-EO)**, sia ottici che radar, con risoluzioni spaziali adeguate al dominio in questione (sia VHR - *Very High Resolution* - che HR - *High Resolution*): sono usate per identificare e monitorare molti fenomeni di degrado che insistono sui beni e valutare le minacce specifiche oltre che per identificare i cambiamenti intercorsi nel tempo ed effettuare valutazioni circa le condizioni dei siti.

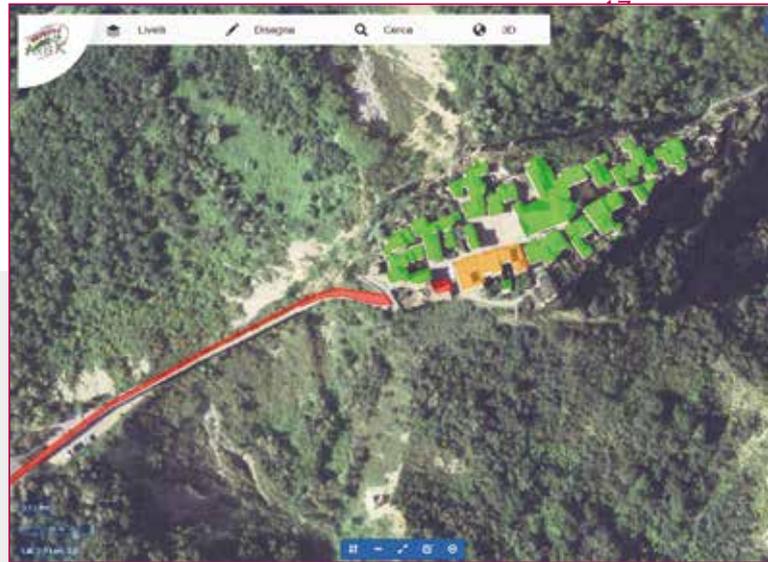


Fig. 2 - (pag. 18) Civita di Bagnoregio - classificazione della stabilità degli edifici ottenuta da analisi interferometriche da satellite. Elaborazione fatta a partire da dati COSMO-SkyMed.

- ii) **Tecnologie di comunicazione satellitare (SAT-COM)**: permettono, in assenza di copertura terrestre, la trasmissione, al centro di monitoraggio e controllo ArTeK, dei dati provenienti dalle reti di sensori dislocate sul campo.
- iii) **Tecnologie di navigazione satellitare (SAT-NAV)**: sono alla base del monitoraggio del flusso dei visitatori. Inoltre i dati di posizionamento preciso, provenienti da reti *ad hoc* o reti GNSS permanenti (ad esempio la rete GNSS permanente RING dell'INGV o quelle mantenute dalle diverse Regioni) vengono assimilate nella catena di elaborazione interferometrica SAR per migliorarne le prestazioni.
- iv) **Sensoristica montata su sistemi UAV (Unmanned Aerial Vehicle)**: offre vantaggi legati alla flessibilità di utilizzo e all'altissima risoluzione spaziale che è possibile raggiungere (dell'ordine di pochi centimetri), indispensabile laddove la risoluzione spaziale dei satelliti risulti essere inadeguata. I sensori da equipaggiare possono inoltre essere scelti sulla base della specificità della missione (ad esempio sensori multispettrali).

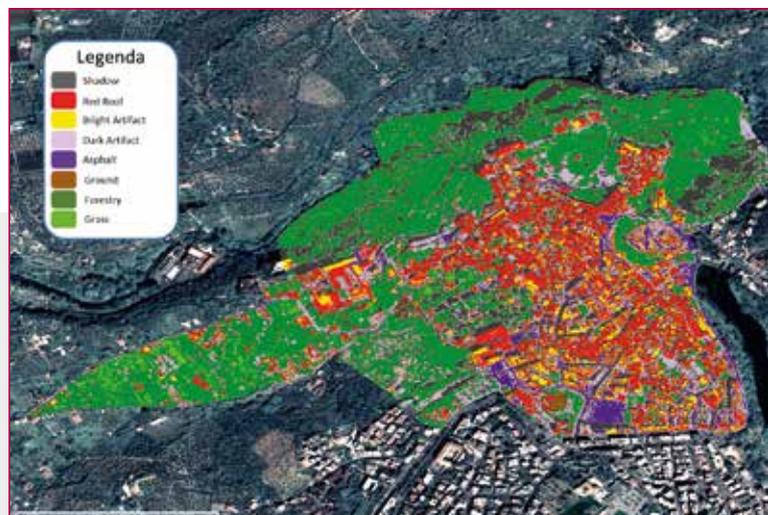


Fig.3 - (pag. 18) Tivoli - esempio di classificazione del suolo mediante dati satellitari. Elaborazione fatta a partire da dati Pléiades.

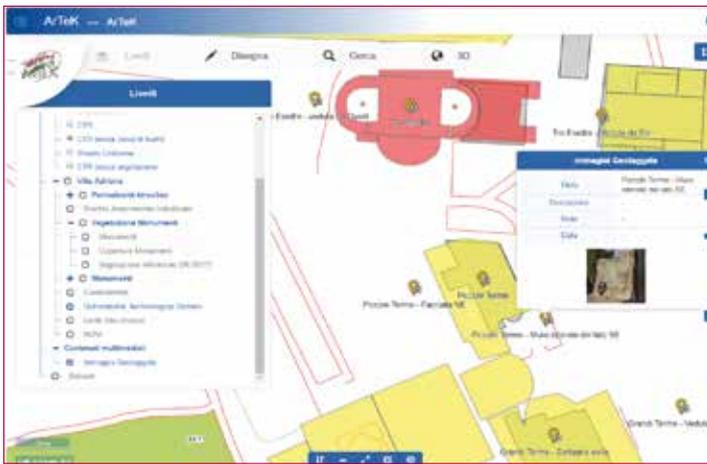


Fig. 4 - Villa Adriana - WebGIS. Visualizzazione di foto geotaggate e del layer di vulnerabilità globale dei monumenti archeologici.

- v) **Strumentazione *in situ*:** sensori installati *in loco* per un monitoraggio su scala locale di edifici, complessi ed aree (ricevitori GNSS, accelerometri, inclinometri, fessurimetri, pluviometri, stazioni di qualità dell'aria, ecc.) che vengono utilizzati in caso di criticità che richiedono un monitoraggio continuo (ad esempio con misurazioni a frequenze giornaliere) e puntuale.

Il telerilevamento, da satellite o drone, così come l'integrazione con informazioni provenienti da sensori installati *in loco*, ha dimostrato di essere un eccellente strumento a supporto delle più tradizionali attività di salvaguardia, normalmente basate su ispezioni visive condotte sul campo da esperti. La principale differenza tra l'impiego delle tecnologie satellitari da una parte, e i più tradizionali approcci dall'altra, è in primo luogo legata alla possibilità di ottenere, attraverso l'uso dei primi, informazioni oggettive su più vaste aree, rispetto alle più puntuali informazioni fornite dai secondi.

Le diverse coperture spaziali delle tre tipologie di osserva-

zione usata da ArTeK (da coperture di vaste aree a informazioni puntuali), congiuntamente a ispezioni effettuate *in loco* per il monitoraggio di alcuni parametri ambientali (ad esempio variazioni colorimetriche delle superfici dei monumenti dovute alla presenza di particolato nell'aria) o per la registrazione dello stato di conservazione dei singoli monumenti (calcolo della loro vulnerabilità), hanno condotto alla definizione di una metodologia che permette di affidare nelle mani del gestore di un sito preziose informazioni sia a livello territoriale, sia a livello degli elementi costituenti il singolo monumento.

La molteplicità di dati acquisiti su più livelli (satellite, UAV, sensori *in situ*, ispezioni visive e diagnostiche) è inoltre supportata dall'integrazione con dati provenienti da database istituzionali certificati, conferendo alle informazioni gestite e divulgate da ArTeK un ulteriore valore aggiunto.

ArTeK, in virtù dell'interoperabilità con il Sistema Informativo Territoriale "Carta del Rischio", gestito dall'ISCR (Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro), consente infatti di correlare dati e informazioni di varia natura in modo più completo al fine di gestire il patrimonio nazionale attraverso un più accurato ed efficiente monitoraggio e controllo dell'integrità dei beni.

### IL MODELLO DI FUNZIONAMENTO

Il modello operativo alla base di ArTeK associa a un dato sito culturale un certo numero di minacce specifiche del sito stesso. Le minacce vengono selezionate di concerto con il gestore del sito o proposte dal team ArTeK sulla base di analisi preliminari. A ciascuna minaccia è associato un certo numero di tipi di indagine che possono essere richieste per valutare e monitorare nel tempo lo stato della minaccia.

Il portfolio di tipi di indagini correntemente supportate da ArTeK è ispirato ai fenomeni specificati nei tre domini di pericolosità (statico-strutturale, ambiente-aria e antropico) della Carta del Rischio e prevede l'uso integrato di dati satellitari ad alta e altissima risoluzione, sia ottici che radar, per l'analisi del cambiamento su larga scala e di dati multispettrali da drone per il supporto alla valutazione del danno dei monumenti.

Nel dominio statico-strutturale viene valutato l'impatto da attività franose, la perimetrazione di aree soggette a movimento del terreno e l'individuazione degli edifici instabili e della relativa criticità (Fig. 2), mappe di danno in seguito ad eventi catastrofici (terremoti, mareggiate, tempeste, trombe d'aria, ecc.), l'impatto delle variazioni della linea costiera sui beni culturali.

Nel dominio ambiente aria viene valutata la pericolosità territoriale e rischio individuale legata ai fenomeni di annerimento, recessione superficiale e stress-fisico.

Infine, nel dominio antropico, viene effettuata la mappatura di nuovi edifici per monitorare fenomeni di urbanizzazione non controllata, la valutazione del cambio d'uso del suolo per valutare eventuali cambiamenti di destinazione del territorio circostante (Fig. 3) il sito e la pressione antropica. Il progetto, oltre a sviluppare prodotti e tipologie di analisi specificamente dedicate alla salvaguardia dei beni

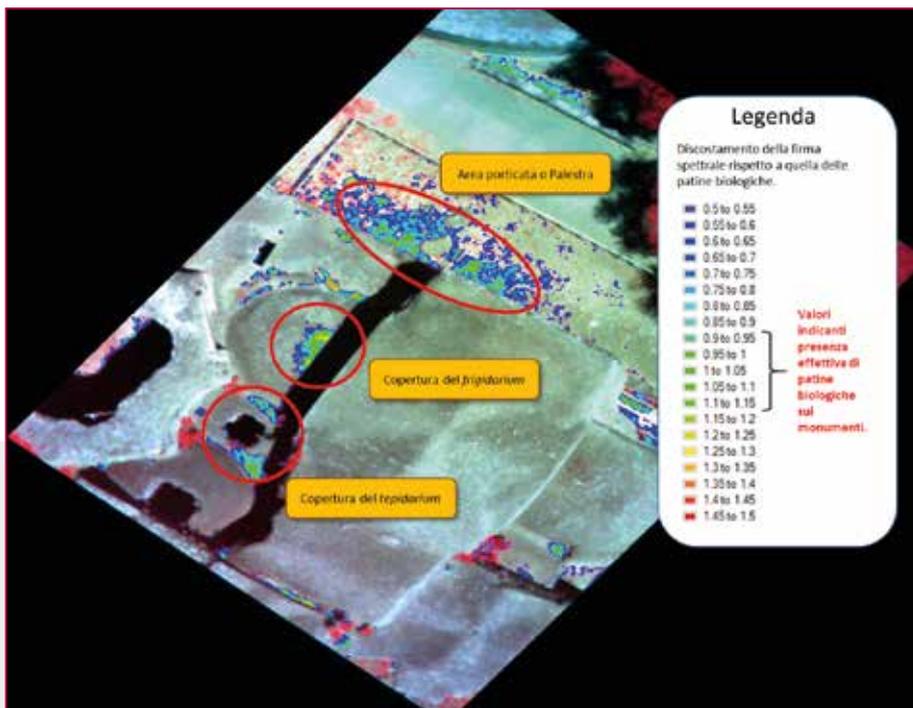


Fig. 5 - Villa Adriana - Piccole Terme. Identificazione della firma spettrale delle patine biologiche sulle coperture a partire da sensore multispettrale montato su drone.

culturali, ha messo a punto una piattaforma web, organizzata in due sezioni principali rispettivamente dedicate alla Salvaguardia e alla Fruizione.

La piattaforma rende possibili alcune operazioni, fra cui la richiesta di specifiche indagini da attivare sul sito di propria competenza, sia già presenti nel portfolio ArTeK sia create *ad hoc* sulla base delle specificità dell'area. Tale piattaforma permette non solo di visualizzare i report contenenti il risultato derivato dalle indagini che sono state richieste, ma permette anche di visualizzare tali risultati attraverso uno strumento web GIS. La piattaforma permette perciò di visualizzare, gestire, interrogare e condividere (tra utenti della stessa organizzazione e tra coloro che ne hanno l'autorizzazione) informazioni e documenti su luoghi e beni di propria competenza e, in virtù dell'interoperabilità con il sistema "Carta del Rischio" permette l'accesso ad informazioni relative alla vulnerabilità di ciascun singolo bene (Fig.4) e ai danni ad esso associati, contribuendo, dunque, alla pianificazione di campagne specifiche via drone o di ulteriori analisi da satellite, queste ultime finalizzate alla comprensione delle possibili cause del fenomeno di degrado osservato su uno specifico bene. Si pensi ad esempio alla presenza di quadri fessurativi sulle coperture o sulle pareti, le cui possibili cause potrebbero essere rintracciate nei fenomeni di instabilità del terreno con ripercussioni sul bene medesimo, la cui lettura può quindi essere resa possibile grazie ad indagini su ampia scala sia spaziale sia temporale.

### I SITI ATTUALMENTE MONITORATI

I siti che attualmente sono sottoposti al monitoraggio di ArTeK sono stati selezionati sulla base delle specifiche minacce di ciascuno di questi. Ciò permette di testare il sistema in molteplici scenari, qui di seguito brevemente presentati:

- ▶ Tivoli: identificazione della variazione delle coperture dei tetti nel centro storico e individuazione di nuove costruzioni sul territorio comunale;
- ▶ Villa Adriana: individuazione di vegetazione infestante sulle coperture dei monumenti archeologici, analisi della stabilità strutturale di questi, mappatura del relativo quadro fessurativo, e individuazione di patine biologiche (Fig.5);
- ▶ Civita di Bagnoregio: movimenti del terreno e relativa stabilità degli edifici della rocca. In questo sito è stata installata una sensoristica per la registrazione dei dati di scivolamento del terreno (argille), registrazione dei parametri ambientali e installazioni di fessurimetri (banco tufaceo) e inclinometri (ponte di accesso alla rocca) (Fig.6);
- ▶ Matera: monitoraggio dei versanti del torrente Gravina, stabilità strutturale dei Sassi;
- ▶ Gianola: monitoraggio della variazione della linea di costa ed impatto sui resti archeologici prossimi al mare e all'azione di questo, e quadro fessurativo;
- ▶ Baia: monitoraggio del fenomeno del bradisismo e ripercussioni dei movimenti del terreno sugli edifici per l'area di Baia-Terme e Baia-Castello. Anche in questi due siti sono stati installati fessurimetri e inclinometri, oltre a una stazione di monitoraggio di qualità dell'area.

Per concludere, a fronte dell'attuale situazione nella quale operano gli utenti finali, caratterizzata da approcci piuttosto frammentati di intervento, l'elemento innovativo dei tre servizi di ArTeK consiste nel rendere possibili attività periodiche e sistematiche di rilevamento e monitoraggio di fenomeni dannosi e rilevare quindi, prontamen-

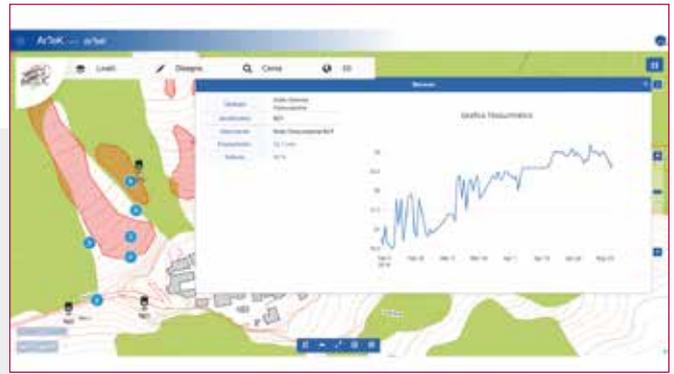


Fig. 6 - Civita di Bagnoregio - WebGIS. Interrogazione, direttamente sul GIS, di uno dei sensori installati sul sito (fessurimetro).

te, alcuni fenomeni potenzialmente latori di gravi danni sui beni sotto osservazione. La visione globale del territorio sul quale il bene è collocato, nonché la piena consapevolezza dello stato di conservazione di un bene, permette inoltre ad ArTeK di proporre piani di manutenzione preventiva dei siti. Attività conservative condotte a regolari cadenze temporali (sulla base della ripetitività del fenomeno dannoso) permettono infatti di preservare quanto più a lungo possibile il bene stesso ed evitare, quindi, l'attività di restauro di per sé invasiva. Quest'ultima comporta, infatti, non solo un enorme dispendio in termini di costi di pianificazione e di esecuzione dell'intervento, ma anche una perdita di introiti per via della diminuzione del numero dei visitatori del sito durante il periodo dei lavori, nonché di altri valori non quantificabili ma identificabili nella mancata fruizione dei visitatori e nei conseguenti costi di "rilancio" dell'immagine del sito/monumento.

### ABSTRACT

ArTeK starts from the experience gained in previous projects that allowed NAIS to develop procedures, develop prototypes of satellite data processing chains and to identify, more and more, the specific needs of end users. The growing development of satellite technologies has in fact allowed to realize, in the last few years, projects focusing on experimentation on the field of innovative services to support the safeguarding of cultural heritage.

### PAROLE CHIAVE

SERVIZI DI MONITORAGGIO; ARTEK; TECNOLOGIE GEOSPAZIALI; PATRIMONIO CULTURALE; SALVAGUARDA; GESTIONE; VALORIZZAZIONE

### AUTORE

ANTONIO MONTELEONE, ANTONIO.MONTELEONE@NAIS-SOLUTIONS.IT  
ARTEK PROJECT MANAGER,  
NICOLE DORE, NICOLE.DORE@NAIS-SOLUTIONS.IT  
ARTEK DEPUTY PROJECT MANAGER,  
LUCA BENENATI, LUCA.BENENATI@NAIS-SOLUTIONS.IT  
EO DATA ANALYST,  
LORENZO BERNARDI, LORENZO.BERNARDI@NAIS-SOLUTIONS.IT  
EO DATA ANALYST,

NAIS, NEXTANT APPLICATIONS AND INNOVATIVE SOLUTIONS