

# ARCHEOLOGIA, OSSERVAZIONE DELLA TERRA E INTELLIGENZA ARTIFICIALE: IL CONTRIBUTO DELL'AGENZIA SPAZIALE ITALIANA PER IL PATRIMONIO CULTURALE

di Roberto Angelone

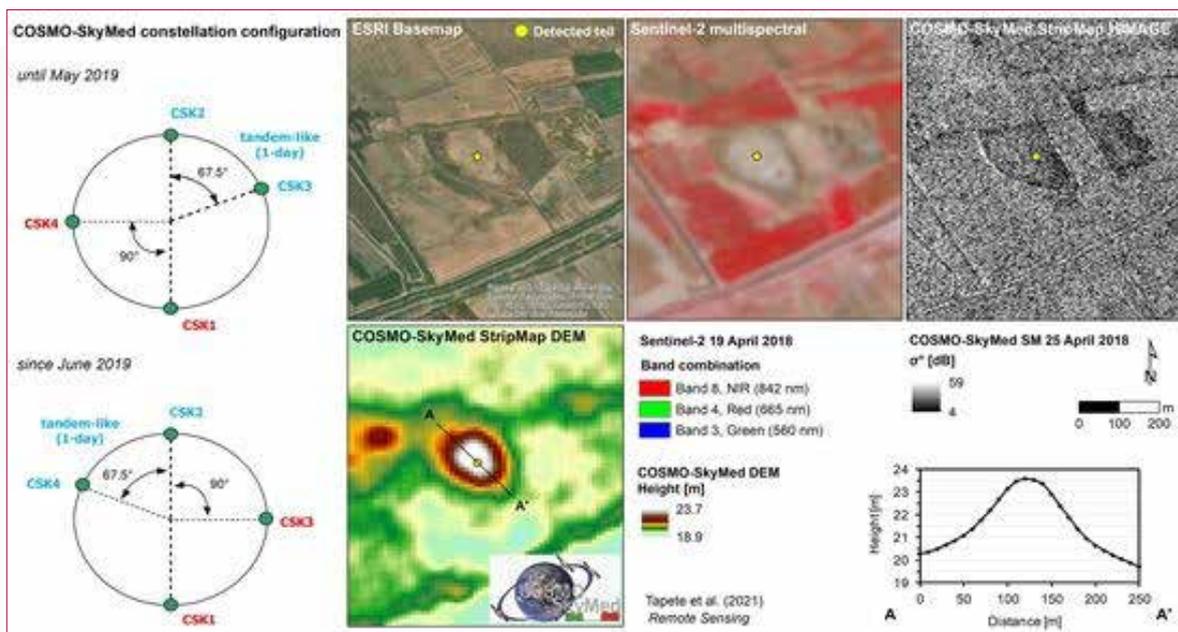


Fig. 1 - Mappatura sistematica su scala regionale dei tumuli archeologici e rilevamento dei sacchetti utilizzando DEM ad alta risoluzione COSMO-SkyMed e composito multispettrale Sentinel-2 (Graphical Abstract). (CC BY). Fonte <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/16/3106> ; <https://doi.org/10.3390/rs13163106>

Il telerilevamento in campo archeologico ha dimostrato di essere uno strumento importante per l'identificazione, la documentazione e la conservazione dei siti archeologici. L'uso dei dati SAR è in continuo aumento nel monitoraggio dei siti archeologici. I satelliti COSMO-SkyMed, finanziati dall'Agenzia Spaziale Italiana, offrono immagini ad alta risoluzione e la capacità di operare giorno e notte, in qualsiasi condizione meteorologica. Inoltre, il telerilevamento e l'intelligenza artificiale, offrono nuove prospettive per l'archeologia: attraverso l'integrazione di competenze umane e tecnologie avanzate si stanno definendo nuove opportunità per approfondire la conoscenza del passato e preservare il patrimonio archeologico per le generazioni future.

Già dal secolo scorso, il telerilevamento è stato di particolare interesse per gli archeologi. Oggi il campo interdisciplinare del telerilevamento per l'archeologia, (noto con più espressioni, e non sempre tutte corrette come Space Archaeology, o Satellite Archaeology (SA), mentre la più precisa potrebbe essere "Satellite Remote Sensing for Archaeology", definizioni in italiano più spesso tradotte con "Archeologia satellitare" o "Archeologia dallo spazio") si è rivelato fondamentale come tecnologia

complementare per il progresso delle conoscenze e la conservazione dei beni culturali.

L'Archeologia satellitare, infatti, si è rivelata utile per l'individuazione di tracce archeologiche, la ricostruzione e il monitoraggio dei processi naturali e antropici, l'osservazione e l'analisi del paesaggio, e per documentare e preservare il patrimonio culturale, risolvendo quesiti archeologici e problemi conservativi concreti. Da più di un ventennio gli studi di SA nelle discipline archeologiche, stanno registrando un forte incremento grazie alla sensibile evoluzione delle tecnologie spaziali nell'ambito dell'ispezione visiva e dell'elaborazione delle immagini, nello sviluppo di metodologie di fusione dei dati e nel miglioramento dei metodi di analisi multitemporale.

Statisticamente la maggior parte degli studi di SA si occupa di individuare siti archeologici, ma non mancano anche quelli dedicati al loro monitoraggio. Generalmente le immagini ottiche sono utilizzate più dei dati radar ad apertura sintetica (SAR), mentre le tecniche di miglioramento dell'immagine e di interpretazione visiva, sono impiegate più di altri metodi di elaborazione dei dati. D'altra parte negli ultimi decenni i dati SAR sono sempre più comunemente applicati nel monitoraggio dei siti archeologici.

Recentemente il focus delle applicazioni archeologiche basate sul telerilevamento, si è concentrato (oltre che sulle indagini, mappatura, monitoraggio e documentazione), sull'estrazione in profondità di big data archeologici, sull'analisi dei modelli di insediamento e sulla ricostruzione dell'archeopaisaggio. Questi miglioramenti e trasformazioni hanno spinto

congiuntamente l'archeologia del telerilevamento verso una nuova fase dell'archeologia dallo spazio.

La geografia dei paesi coinvolti negli studi di SA, evidenzia che i gruppi di ricerca interdisciplinari sono presenti con una maggiore concentrazione in Europa e negli Stati Uniti, mentre i siti esaminati tendono ad essere situati in aree come il Mediterraneo e il Medio Oriente.

### RIFLESSIONI SU COSMO-SKYMED E L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE APPLICATA IN ARCHEOLOGIA

Grazie alla missione COSMO-SkyMed (COntellation of small Satellites for the Mediterranean basin Observation), nel corso degli ultimi anni, l'Agenzia Spaziale Italiana ha progressivamente sempre più sostenuto progetti per favorire lo sviluppo di prodotti e servizi dedicati al patrimonio culturale e alla loro conservazione.

Il programma COSMO-SkyMed nel 2003 vede l'accordo tra l'ASI e l'Amministrazione Dife-

sa, attraverso il quale viene finanziato e commissionato alle realtà industriali specializzate, il sistema a uso duale (civile e militare) che attualmente è il più grande investimento italiano nel campo dell'osservazione della Terra. Il sistema COSMO-SkyMed è stato concepito come una costellazione, unica al mondo, formata da quattro satelliti dotati di sensori radar in banda X. Dal 2007 al 2010 sono stati lanciati tutti e quattro i satelliti di prima generazione. Nel dicembre 2019 e nel febbraio 2022 sono stati lanciati i due satelliti di seconda generazione (CSG). La seconda generazione è stata sviluppata per garantire la continuità operativa della missione. I nuovi satelliti CSG sono dotati di un sensore SAR multimodale operante in banda X, con prestazioni migliorate in termini di qualità dell'immagine e polarimetria (quadrupla), modalità di acquisizione, agilità della piattaforma e trasmissione dati. Recentemente si sta facendo sempre più ricorso ai dati SAR

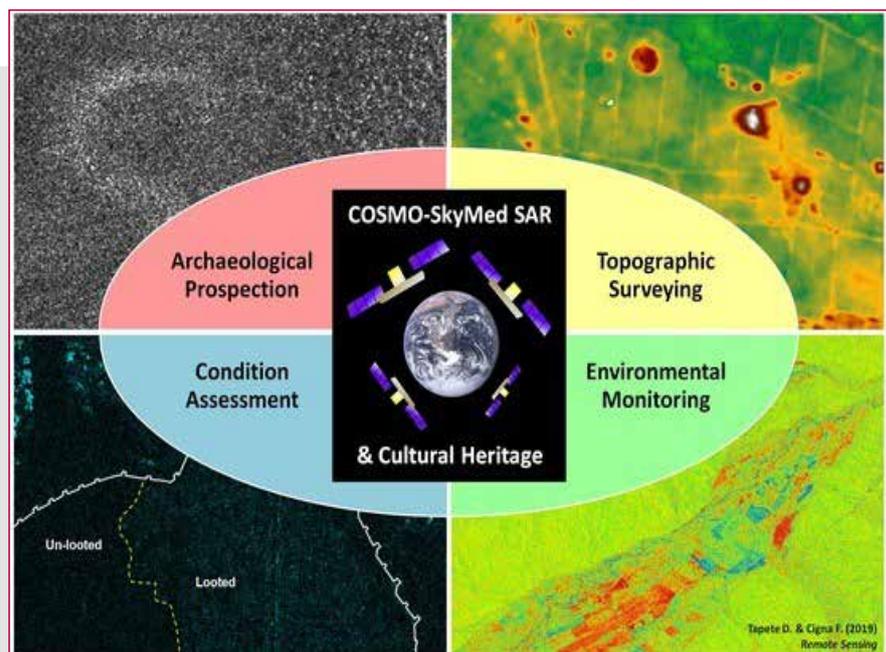


Fig. 2 - COSMO-SkyMed SAR and Cultural Heritage Sites (Graphical Abstract).  
(CC BY) Fonte <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/11/1326> ; <https://doi.org/10.3390/rs11111326>

per lo studio e il monitoraggio del patrimonio culturale attraverso analisi multi-temporali, di interferometria differenziale (DInSAR), e basate su tecniche di change detection. Proprio in questo ambito si inseriscono le potenzialità offerte dall'ASI con i satelliti COSMO-SkyMed che possono operare di giorno e di notte, con qualsiasi condizione meteorologica o di visibilità e con tempi di rivisitazione molto brevi (tempi di rivisita fino a 12 ore). Tali prerogative permettono un intervallo molto veloce tra la finalizzazione della richiesta utente per l'acquisizione di una determinata area geografica, e il rilascio del prodotto di telerilevamento (System Response Time). COSMO-SkyMed ha permesso lo studio delle deformazioni strutturali e del terreno non ottenibili, a parità di accuratezza e costi, con tecniche di rilevamento tradizionale. Durante la sua vita operativa COSMO-SkyMed ha promosso diversi progetti mirati alla difesa del patrimonio culturale e archeologico quali: PALATINO inizio 2012, WHERE (World HEritage monitoring by Remote sEnsing) 2012, ITACA 2013, ARCHEOCOSMO 2013,

POMPEI 2014 (qui sulla base dei precedenti eventi di instabilità catalogati, la metodologia di monitoraggio interferometrico satellitare è stata utilizzata per valutare l'entità e la sensibilità delle potenziali deformazioni pre-crollo che potrebbero essere utilizzate per stabilire soglie di allarme), APPLICAZIONI CON DATI MULTI-SENSORE E BIG SAR DATA 2018, e LARICI 2018. Al 2019, anno in cui è stato istituito il tavolo tecnico con INGV e ISPRA, risale un'importante collaborazione dell'ASI per il progetto SyPEAH (System for the Protection and Education of Archaeological Heritage). Questo progetto di monitoraggio statico e dinamico avviato dal Parco Archeologico del Colosseo (PARCo), organizzato attraverso un centro di elaborazione dati dedicato (a cura della dott.ssa Irma Della Giovampaola: responsabile dell'Ufficio Monitoraggio del PARCo) e costituito da sei livelli fondamentali di attività, prevede la realizzazione di un sistema multiparametrico di controllo permanente dell'intera area archeologica. Saranno analizzati gli indicatori del livello di rischio per i quali è necessario l'uso combinato di

tecnologie innovative. Il monitoraggio attraverso tali tecnologie permette un'efficace opera di manutenzione programmata e di conservazione preventiva. L'Anfiteatro Flavio è stato scelto come area di ricerca proprio in quanto particolarmente adatto al monitoraggio con tecnologie InSAR, specialmente attraverso immagini ad alta risoluzione come quelle in banda X della costellazione COSMO-SkyMed. La sperimentazione ha permesso una validazione a terra dei dati satellitari, in modo da poter definire protocolli replicabili su scala più ampia. I risultati preliminari inoltre hanno evidenziato il potenziale di questa tecnologia satellitare, in particolare nel monitoraggio della stabilità delle coperture e dell'efficacia delle strutture murarie di sostegno.

Passando al versante dell'Intelligenza Artificiale, essa già da alcuni anni sta calamitando l'attenzione di molte discipline scientifiche. Tale tecnologia, infatti, costituisce uno strumento importante che consente agli archeologi di cercare e comprendere i siti Archaeological and cultural heritage (ACH), e non solo di scoprirli e monitorarli, ma anche di risolvere tipologie di problemi come la documentazione e la conservazione del patrimonio culturale. Per l'archeologia, l'IA, in generale, permette di acquisire conoscenze che emergono da una vasta gamma di dati comunque rilevati. Gli archeologi grazie ad essa, sono indirizzati rispetto alle scelte da assumere per capire dove è più opportuno circoscrivere campagne di scavo all'interno di un contesto paesaggistico complicato da molteplici fattori. La prima sfida nell'impiego dell'intelligenza artificiale in archeologia riguar-

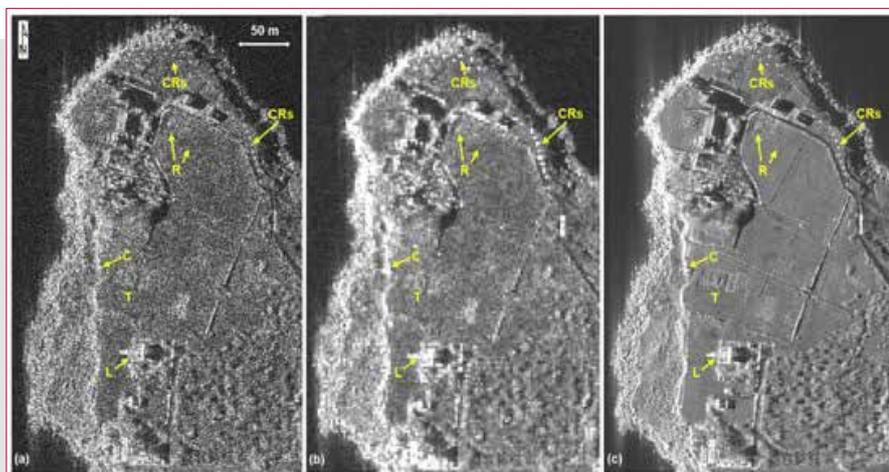


Fig. 3 - Confronto di un'immagine COSMO-SkyMed Enhanced Spotlight a 1 m di risoluzione al suolo, acquisita il 14/08/2018 in modalità discendente, utilizzando un angolo di incidenza di 42°, sul sito archeologico di Capo Colonna, Italia meridionale. (CC BY).  
Fonte <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/11/1326> ; <https://doi.org/10.3390/rs11111326>

da la comprensione e la classificazione dei reperti. Grazie alla capacità di apprendimento automatico delle macchine, è possibile sviluppare algoritmi in grado di riconoscere diverse tipologie di manufatti e di identificarne caratteristiche rilevanti come materiale, età, e provenienza geografica. Questo processo automatizzato consente di accelerare notevolmente il lavoro dei ricercatori e di ottenere risultati più accurati ed esaustivi.

L'integrazione di queste due discipline permette di affrontare in modo innovativo problemi che altrimenti richiederebbero un enorme dispendio di tempo e risorse. L'utilizzo di algoritmi avanzati e di tecnologie all'avanguardia consente di analizzare, interpretare e catalogare grandi quantità di dati archeologici in modi che sarebbero altrimenti impensabili.

Tutti i diversi aspetti evidenzianti che vanno dalla ricerca e innovazione alle questioni applicative, quindi dalla scienza ai servizi, devono essere affrontati dalla comunità scientifica in combinazione con le "esigenze di usi finali" per garantire un'applicabilità efficace e affidabile. In questo contesto la costellazione satellitare COSMO-SkyMed SAR è stata utilizzata per riportare casi specifici all'interno di una strategia per identificare e classificare preliminarmente le possibili costruzioni critiche in un ambiente costruito (l'ambiente cioè determinato a tutti i livelli dall'azione antropica). La costellazione CSM è stata oggetto di uno studio sullo sfruttamento congiunto delle misurazioni satellitari DInSAR e delle tecniche basate su DBSCAN. L'analisi dell'evoluzione deformativa di ciascun cluster edilizio effettuata, è stata eseguita in

termini di velocità e statistiche sulle misurazioni DInSAR. Le mappe sintetiche di deformazione delle aree sono state poi recuperate per identificare gli edifici critici. La metodologia proposta è stata applicata a tre aree all'interno della città di Roma, fotografate dalla costellazione satellitare COSMO-SkyMed SAR da orbite ascendenti e discendenti (nell'intervallo di tempo 2011-2019). A partire dalle misurazioni DInSAR, l'algoritmo DBSCAN ha fornito il clustering automatico degli edifici all'interno delle tre aree selezionate. Analizzando le mappe di deformazione derivate di ogni area di studio, si è ottenuta una prima identificazione e classificazione degli edifici critici, confermando così la validità dell'approccio proposto. Certo, le potenzialità dell'IA non possono essere considerate una panacea per la ricerca ar-

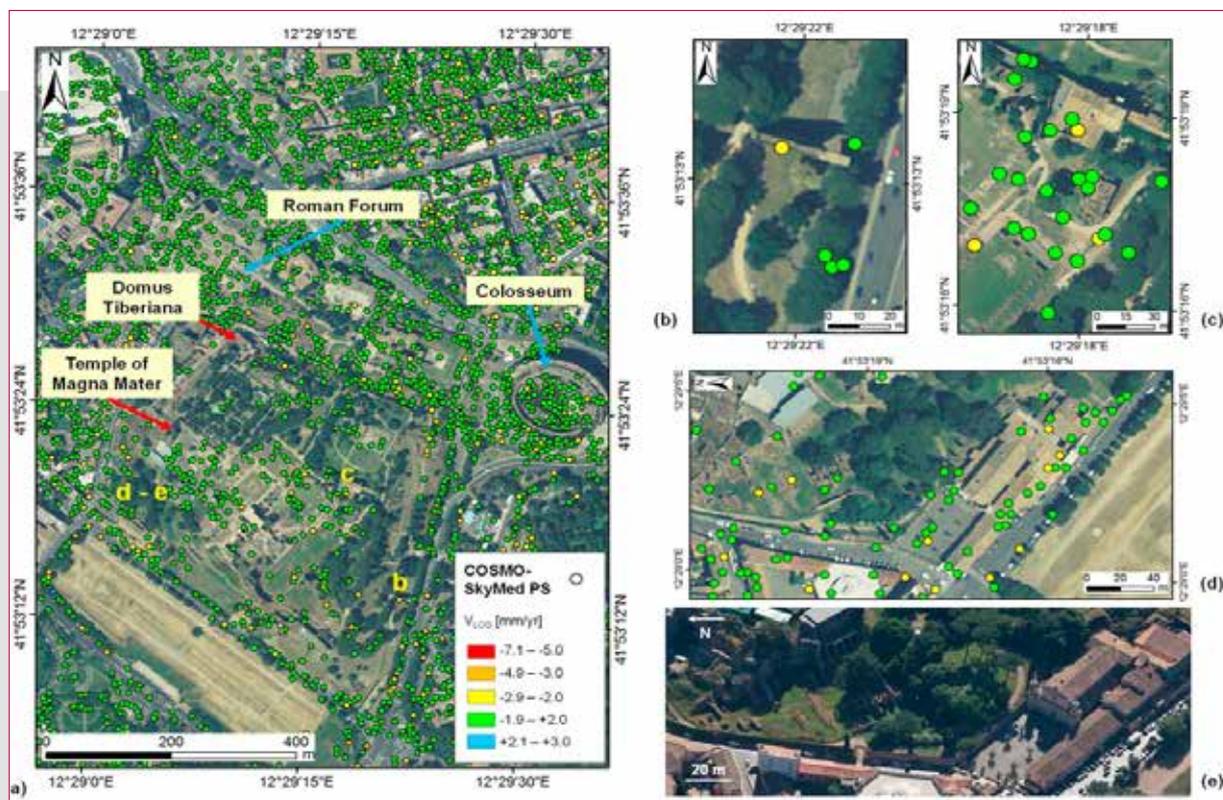


Fig. 4 - VLOS di COSMO-SkyMed PS (marzo 2011-giugno 2013) sui siti archeologici del Palatino, Foro Romano e Colosseo. (CC BY) Fonte: <https://www.mdpi.com/2072-4292/6/12/12593>; <https://doi.org/10.3390/rs61212593>

cheologica. Mentre le capacità dell'IA sono evidenti, come l'automazione e l'alta precisione, le metodologie hanno ancora alcune importanti limitazioni da superare nell'ambito della ricerca archeologica. Il problema della rappresentatività dei campioni di addestramento e validazione dei modelli è particolarmente importante, poiché una carenza di dati può influire negativamente sulle prestazioni dei modelli stessi. Inoltre, l'eterogeneità e la complessità dei siti archeologici possono rappresentare una sfida per gli algoritmi di intelligenza artificiale, in quanto potrebbero non essere in grado di rilevare e interpretare in modo accurato tutte le caratteristiche archeologiche presenti. Molti approcci di intelligenza artificiale sono stati sviluppati principalmente utilizzando esempi dell'emisfero settentrionale, mentre un numero limita-

to di esempi proviene dall'emisfero sud. Questa mancanza di rappresentanza geografica può influenzare la generalizzazione e l'applicabilità degli algoritmi a contesti diversi.

Tuttavia, nonostante queste limitazioni, le tecnologie di intelligenza artificiale hanno ancora un grande potenziale per migliorare la ricerca archeologica. L'automazione e la precisione dei processi di telerilevamento, ad esempio, possono consentire agli archeologi di raccogliere dati in tempi più brevi e con una maggiore accuratezza. Il futuro dell'intelligenza artificiale e delle tecniche di automazione nell'archeologia spaziale, fanno presumere che l'utilizzo di sensori sempre più sofisticati e di piattaforme di telerilevamento avanzate, potrà migliorare ulteriormente la precisione e la velocità delle rilevazioni archeologiche.

Allo stesso tempo, è importante sottolineare che l'IA non può e non deve sostituire completamente il ruolo degli archeologi, ma piuttosto supportarli nel processo decisionale e nell'analisi dei dati.

In conclusione, sebbene le limitazioni dell'intelligenza artificiale siano ridotte e accettabili, è importante considerare l'IA come una risorsa complementare per l'archeologia che può fornire un supporto prezioso nella ricerca e nella protezione del patrimonio archeologico.

L'integrazione di competenze umane e tecnologie avanzate, che anche l'Agenzia Spaziale Italiana sta contribuendo a implementare, potrà aprire sempre più nuove opportunità per approfondire la conoscenza del passato e preservare il nostro patrimonio culturale per le future generazioni.

#### BIBLIOGRAFIA

- Virelli, M., Coletta, A., Tapete, D. Cigna, F., (2023) Cosmo-skymed: A satellite tool for monitoring cultural heritage In: ISPRS Archives, Vol. 48, Issue M-2-2023, pp.1621-1627. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1621-2023.
- Lasaponara, R., Xinyuan Wang, Nicola Masini, N. (2023) Notes on Artificial Intelligence and Big Earth Observation Data for the Study of the Human Past." In: Sustainable Conservation of UNESCO and Other Heritage Sites Through Proactive Geosciences. Springer, pp. 569-585. doi: 10.1007/978-3-031-13810-2\_29.
- Giovampaola, I.D. (2021) SyPEAH: The webapp system for protection and education to archaeological heritage in the parco archeologico del Colosseo, In: Geosciences (Switzerland),11(6), pp. 1-21. doi: 10.3390/geosciences11060246.
- Wang Xinyuan, Luo Lei, (2020) From remote sensing archaeology to space archaeology: A new task in the era of cultural heritage protection, In: Journal of Remote Sensing, Vol. 24, Issue 7, pp. 837-841. doi: 10.11834/jrs.20200016.
- Traviglia, A., Torsello, A. (2017) , Landscape pattern detection in archaeological remote sensing In: Geosciences, 7(4). doi: 10.3390/geosciences7040128.

#### ABSTRACT

*Remote sensing in the archaeological field has proved to be an important tool for the identification, documentation and conservation of archaeological sites. The use of SAR data is constantly increasing in the monitoring of archaeological sites. COSMO-SkyMed satellites funded by*

*the Italian Space Agency, offer high-resolution images and the ability to operate day and night, in any weather condition. Remote sensing and Artificial Intelligence offer new perspectives for archaeology. Through the integration of human skills and advanced technologies new opportunities can be offered to deepen knowledge of the past and preserve our archaeological heritage for future generations.*

#### PAROLE CHIAVE

ARCHEOLOGIA SPAZIALE; OSSERVAZIONE DELLA TERRA; TELERILEVAMENTO; AGENZIA SPAZIALE ITALIANA; COSMO-SKYMED; SAR; INTELLIGENZA ARTIFICIALE; DInSAR; DBSCAN.

#### AUTORE

ROBERTO ANGELONE  
BIBLIOTECA@ASI.IT  
RESPONSABILE DELLA GESTIONE DELLA  
BIBLIOTECA "CARLO BUONGIORNO" -  
DIREZIONE SICUREZZA, SISTEMI INFORMATICI E DIGITALIZZAZIONE  
AGENZIA SPAZIALE ITALIANA



# XVS

VI  
SU  
AL **SLAM**

vSLAM 3D Scanner



CONTATTACI  
PER INFO

Seguici sui Social



[www.stonex.it](http://www.stonex.it)