

# PROGETTO AMOR: QUANDO LA TECNOLOGIA INCONTRA I BENI CULTURALI

di Nicole Dore, Francesco Cochetti, Maria Elena Corrado, Carlo Cacace, Paolo Osso, Michele Luglio, Francesco Zampognaro, Ilaria Catapano

Il progetto AMOR nasce con lo scopo di offrire servizi negli ambiti della Salvaguardia e della Fruizione dei Beni Culturali. Tali servizi nascono nell'ottica di una salvaguardia circolare (Fig. 1), passando per la fruizione, pienamente rispondente alle strategie del MiC.



Fig. 1 - Salvaguardia Circolare.

Il progetto AMOR - *Advanced Multimedia and Observation services for the Rome cultural heritage ecosystem* - cofinanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e coordinato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e dal Ministero della Cultura (MiC), rientra nell'ambito della *call* ESA 5G for L'ART (*Business Applications programme*). Le attività di progetto, della durata di 24 mesi, sono coordinate dalla NAIS S.r.l., capofila di un gruppo composto di soggetti pubblici e privati (ICR, CNR-IREA, CoopCulture, NITEL, ESRI Italia), ciascuno dei quali con ampia esperienza e competenza nei vari aspetti affrontati in AMOR.

La *mission* di progetto è stata concepita grazie alla crescente consapevolezza della necessità di applicare, in maniera sistematica, le tecnologie e gli strumenti digitali a oggi disponibili per metterli al servizio degli Enti Pubblici, responsabili della conservazione e della valorizzazione del patrimonio culturale italiano, nonché di stakeholder e utenti privati interessati a questi settori.

I monumenti di Roma scenario applicativo dei servizi AMOR sono il suggestivo complesso archeologico delle Terme di Caracalla e un tratto meridionale delle poderose Mura Aureliane (da porta San Sebastiano a Porta Latina).

## SALVAGUARDIA: NECESSITÀ, TECNOLOGIE E METODOLOGIE

Tra le principali necessità degli utenti finali, che i servizi AMOR mirano a soddisfare, vi è indubbiamente quella di una maggiore consapevolezza dello stato di conservazione dei monumenti e la natura e la gravità delle principali criticità che su di questi impattano.

Per rispondere a tali necessità, AMOR si avvale di tecnologie che partono dall'osservazione del territorio su vasta area, grazie ai satelliti, per arrivare ad un elevato dettaglio delle superfici (dell'ordine di pochi cm), attraverso l'utilizzo di sistemi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) e passare poi ad una investigazione sub-superficiale sia del suolo che delle

strutture verticali (quali i muri) attraverso l'uso del GPR (*Ground Penetrating Radar*).

## L'OSSERVAZIONE REMOTA DEL DEGRADO DELLE SUPERFICI: SATELLITI E DRONI

Per l'osservazione da remoto dei danni e delle pericolosità del territorio che impattano sui beni culturali e nelle aree ad essi adiacenti e per l'osservazione delle loro evoluzioni nel tempo, AMOR si avvale di strumenti quali satelliti, equipaggiati con sensoristica multispettrale e con sensoristica SAR (*Synthetic Aperture Radar*) e sistemi UAV, anch'essi equipaggiati con opportuna sensoristica selezionata sulla base del fenomeno di degrado da rilevare. I sensori SAR, attraverso l'impiego della tecnica PS-InSAR (*Permanent Scatterer - Interferometric Synthetic Aperture Radar*) ormai ampiamente riconosciuta e impiegata, permettono di estrarre informazioni sugli spostamenti lenti millimetrici del suolo e degli edifici posti sopra questo, non rilevabili altrimenti se non tramite installazione di sensoristica dedicata che fornisce, comunque, informazioni puntuali, a differenza della vasta copertura di area garantita dai satelliti. Il monitoraggio periodico attraverso questa tecnica, perciò, permette un miglioramento della conoscenza delle criticità legate all'instabilità del terreno e dei riflessi che queste possono avere sui monumenti (cfr. Fig. 2).

I sensori multispettrali montati a bordo di satelliti sono, invece, impiegati in AMOR con due finalità principali: a) analisi della vegetazione infestante sulle coperture o creste murarie dei monumenti (analisi di I livello); b) *change detection*, su vasto arco temporale, di un preciso settore urbano.

In quest'ultimo caso, l'utilizzo di satelliti commerciali ad alta risoluzione spaziale (VHR) si rende indispensabile per l'individuazione e la mappatura di cambiamenti del

tessuto urbano, non osservabili diversamente. Questi hanno la funzione di estrarre preziose informazioni per il raffinamento del calcolo della vulnerabilità delle unità urbane e del rischio associato (Carta del rischio - ICR/MiC). Tuttavia, ai fini di un approfondimento o di più precise osservazioni che il satellite non è in grado di fornire, l'uso dei sistemi UAV raffina e completa l'offerta dei servizi. Attraverso questi, infatti, è possibile rilevare e mappare i danni che insistono su uno specifico monumento, nell'ottica di migliorare la conoscenza dello stato di conservazione di un monumento e contribuendo, anch'essi, al calcolo delle vulnerabilità dei singoli monumenti.

### IL SISTEMA GPR

Altro strumento tecnologico impiegato per gli aspetti di salvaguardia in AMOR è il georadar o GPR. Si tratta di un sistema radar progettato per l'esecuzione di indagini sub-superficiali, sempre più impiegato nel settore dei Beni Culturali. Sfruttando la capacità delle microonde di penetrare in materiali non metallici e sofisticate procedure di elaborazioni dati, spesso ottimizzate per la specifica applicazione di interesse, fornisce in modo non invasivo immagini ad alta risoluzione della regione investigata. Tali immagini consentono di localizzare oggetti sepolti, di cui è possibile ricostruire la forma e le dimensioni, e di caratterizzare fenomeni di degrado che possono danneggiare la struttura in esame.

In AMOR, il GPR è impiegato per effettuare sia indagini del sottosuolo, finalizzate ad accrescere la conoscenza del sito grazie all'individuazione di oggetti sepolti di cui si è persa memoria, ad esempio camminamenti e/o cisterne sotterranee, come nel caso del complesso archeologico delle Terme di Caracalla, sia per effettuare indagini strutturali volte a caratterizzare quadri fessurativi, come nel caso delle Mura Aureliane.

Il sistema GPR di AMOR è un sistema altamente flessibile, in quanto può essere equipaggiato con antenne operanti a diverse frequenze (da qualche decina di MHz a qualche GHz), consentendo in tal modo di raggiungere diverse profondità di penetrazione e di ottenere immagini a diverse risoluzioni spaziali, in modo da soddisfare i requisiti dettati dalla finalità dell'indagine richiesta dall'utente. I dati acquisiti sono elaborati sfruttando procedure sviluppate dai ricercatori dell'IREA-CNR. Tali procedure coinvolgono sia algoritmi di filtraggio che mirano ad enfatizzare il segnale utile, ovvero quello dovuto agli oggetti di interesse, sia approcci di ricostruzione tomografica che, risolvendo un problema inverso di diffusione elettromagnetica, producono immagini focalizzate degli oggetti individuati rendendo possibile una loro accurata caratterizzazione geometrica. Tali immagini forniscono, quindi, informazioni utili per la salvaguardia e la manutenzione ottimizzata del sito e possono essere impiegate per rendere fruibile ai visitatori reperti non altrimenti visibili.

Allo stato attuale del progetto, sono state effettuate due campagne di misure GPR, una presso il complesso archeologico delle Terme di Caracalla e l'altra presso una porzione non accessibile ai visitatori della parte meridionale delle Mura Aureliane, interessata da un non trascurabile fenomeno di fratturazione.

La Figura 2 mostra la campagna di misura svolta presso le Terme di Caracalla, dove l'attenzione è stata focalizzata nella zona dei giardini e dei viali. Viene mostrato un risultato preliminare ottenuto applicando le sole procedure di filtraggio a dati acquisiti lungo uno dei viali. Si possono notare diverse anomalie sub-superficiali: la prima, a sinistra, posta ad una profondità di circa 1.2 m e le altre a circa 2 m.



Fig. 2 - Analisi PS-InSAR su centro storico di Roma - GIS piattaforma St'ART.

Le anomalie potrebbero essere associate a cisterne e/o a gallerie. Ulteriori indagini sono in corso al fine di giungere ad una loro corretta interpretazione.

### FRUIZIONE

Come accennato nell'introduzione, AMOR mira a sviluppare anche servizi dedicati alla fruizione. In un periodo storico caratterizzato da una pandemia ancora in corso, infatti, la possibilità di disporre direttamente sul proprio smartphone di servizi di fruizione con contenuti multimediali certificati e approvati dagli Enti direttamente responsabili del monumento, dà indubbiamente un valore aggiunto all'esperienza del turista culturale.

Il servizio proposto da AMOR prevede, dunque, lo sviluppo di una mobile app che offra contenuti informativi certificati ed esperienze emotivamente coinvolgenti (ad es. Realtà Mista (MR)), per una conoscenza più approfondita e immediata del patrimonio culturale.

### LE NUOVE SOLUZIONI DI FRUIZIONE

Oggi, l'innovazione tecnologica in ambito digitale permette l'ideazione e lo sviluppo di nuovi strumenti di valorizzazione del patrimonio culturale capaci di offrire al pubblico contenuti con potenzialità comunicative prima inimmaginabili e, al tempo stesso, di raccogliere dati utili per la tutela dei siti interessati.

La Mobile App pensata e sviluppata per il progetto AMOR è in grado di offrire un'innovativa forma di fruizione, che coniuga contenuti multimediali avanzati e semplificazione

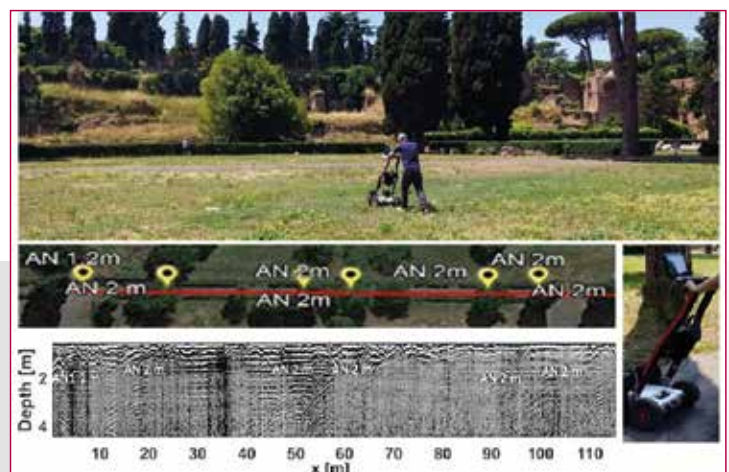


Fig. 3 - Prospezioni con GPR presso Terme di Caracalla.



Fig. 4 - Mobile APP per visualizzazione modelli 3D in MR a Terme di Caracalla.

di utilizzo tramite itinerari e georeferenziazione. Lo strumento è progettato per essere utilizzato in totale autonomia da visitatori provenienti da tutto il mondo e fruito in diverse lingue.

L'App prevede un catalogo di contenuti creati per godere di itinerari turistici urbani in diversi luoghi culturali come musei, aree archeologiche, monumenti. Una mappa della città segnala all'utente la sua posizione (in caso di GNSS attivo e nel pieno rispetto delle vigenti normative sulla *privacy*) permettendogli di orientarsi e decidere quale itinerario seguire o quale sito visitare e, se interessato, l'utente può scaricare e fruire direttamente sul suo dispositivo i vari contenuti disponibili.

Oggi con uno smartphone qualsiasi persona può raggiungere una quantità di informazioni inimmaginabile in poco tempo. Ma quali contenuti sono realmente credibili? L'app del progetto AMOR, sviluppata di concerto con le Istituzioni culturali, permette all'utente di accedere a contenuti scientificamente approvati e di qualità, insieme alla proposta di esperienze non altrimenti fruibili in rete. I contenuti multimediali, creati da professionisti dello storytelling, guidano l'utente lungo tutto il percorso di visita, focalizzando la sua attenzione sui dettagli più significativi per una corretta comprensione del monumento. Mappe satellitari e graficizzate, commenti audio, gallerie di immagini, testi, ricostruzioni virtuali, elementi di Realtà Mista sono di volta in volta combinati insieme per creare un'esperienza di visita emotivamente coinvolgente. In particolare, in AMOR l'utilizzo della Realtà Mista (MR) permetterà agli utenti di visualizzare modelli 3D del complesso delle Terme di Caracalla, agevolati dalle connessioni 5G e 4G.

Le finalità divulgativa ed educativa dell'applicazione sono strettamente legate a quelle della tutela e valorizzazione dei siti visitati attraverso la raccolta di dati utili sul movimento dei flussi di visitatori (vedi paragrafo successivo).

#### LA FRUIZIONE CIRCOLARE

Secondo quanto appena descritto, ciò che contribuisce a rendere AMOR innovativo è proprio la circolarità dei dati raccolti attraverso diverse sorgenti, una circolarità che porta alla generazione di ulteriore materiale informativo che confluisce nel settore della salvaguardia, andando ad alimentare la conoscenza di "vulnerabilità indiretta" del bene, impattata anche da cause antropiche.

La raccolta anonimizzata dei dati di posizionamento dei

visitatori permette di operare un'analisi dei flussi (*data analytics*) relativamente ai luoghi da questi visitati.

Tale processo di analisi è integrato con un'attività di *geofencing* che consiste nell'individuazione di aree per l'attraversamento delle quali sono registrati i dati di posizionamento da cui sono derivate le ulteriori informazioni. Oltre ai dati raccolti dall'app mobile, l'analisi dei flussi è alimentata anche da dati disponibili sul mercato relativi alla gravitazione sulle celle telefoniche dei diversi *device* mobili, i cosiddetti database gravitazionali, ovvero dati messi a disposizione da alcuni operatori telefonici o da aziende che li arricchiscono dopo alcuni processi di analisi. Quest'ultimo prodotto è stato preso in considerazione in AMOR per arricchire il progetto (e il servizio nel futuro) di una componente di analisi di dati storici, utile a costruire *pattern* di comportamento su tempi più lunghi e che tengano in considerazione anche i visitatori che non scaricano e installano l'app. Per il progetto, in particolare, è stato utilizzato il prodotto GeoMobile DB che offre dati su base trimestrale riferiti alle sezioni di censimento dai quali è possibile trarre informazioni su fasce orarie di afflusso, età, nazionalità (se italiani o stranieri), tipologia di utenza (se *business* o privato).

Per l'analisi e la visualizzazione di questi dati, il progetto utilizza la piattaforma ArcGIS Enterprise nel quadro della quale sono stati sviluppati i moduli definiti Geotools. All'interno della piattaforma, utilizzata per la definizione e la gestione delle aree di *geofencing* e per l'analisi e visualizzazione dei dati, sono state sviluppate applicazioni per la visualizzazione su mappa e diagrammi dei risultati delle analisi, attraverso dei cruscotti che consentono all'utente gestore dell'area di avere un quadro sinottico circa l'andamento del flusso di visitatori.

Le valutazioni che potranno essere fatte dal gestore dell'area saranno utili per prendere decisioni al fine, ad esempio, di valorizzare luoghi meno visitati, apporre cartellonistica informativa/di promozione, posizionare punti informativi, riorganizzare percorsi di visita e così via.

#### L'IMPORTANZA DEL 5G

È dunque nell'ottica di una fruizione mobile più fluida che il 5G supporta il progetto AMOR.

La quinta generazione della rete mobile - ossia il 5G - porta con sé importanti progressi e rivoluzioni nel settore delle telecomunicazioni. Il 5G, oltre ad offrire una più elevata velocità di trasmissione ed una minore latenza (ed altre migliorie tecnologiche) rispetto alla generazione precedente 4G/LTE, offre notevoli innovazioni dal punto di vista infrastrutturale, funzionale e dei servizi offerti.

Il 5G, infatti, include paradigmi innovativi di progettazione come il Software Defined Networking (SDN) e la virtualizzazione delle funzioni di rete (NFV). Queste tecnologie consentono la realizzazione di un'infrastruttura di rete virtualizzata completamente informatizzata per quanto riguarda le funzionalità e la gestione della rete stessa. Tutto ciò rende l'ecosistema 5G flessibile e adattabile alle caratteristiche del servizio, permettendo di disegnare porzioni di rete indipendenti chiamate "slice". La conseguenza è poter erogare servizi evoluti che vanno oltre ai servizi voce, messaggi e dati offerti sinora dalle reti mobili, che soddisfano le esigenze di nuovi operatori virtuali (chiamati "vertical") nei settori automobilistico (ad es. guida autonoma), *smart cities* (ad es. reti di sensori), *eHealth* (ad es. telemedicina), media (ad es. realtà aumentata), Industria 4.0, ecc.

In questo contesto, la fruizione dei contenuti multimediali 3D offerta *in itinere* nel corso di *tour* cittadini, prevista dal



progetto AMOR, può godere del grande potenziale offerto dalle reti 5G, permettendo di definire un nuovo “Vertical” nel settore della cultura/infotainment. Nello specifico, la piena disponibilità del 5G permetterà all’applicazione di interagire direttamente con una “slice” della rete, avvalendosi del processamento di grandi quantità di dati nella rete stessa a bassa latenza, offrendo un’esperienza all’utente ancora superiore a quanto possibile oggi.

## CONCLUSIONI

La complessità del sistema AMOR vede una sua stessa semplificazione nella modalità con cui esso viene fatto fruire agli utenti finali. L’accesso alle informazioni relative alla salvaguardia tradizionale e a quella “collaterale” (da mobile app) avviene attraverso un unico punto di consultazione dati: la piattaforma St’ART®, che mette a disposizione tutti gli strumenti per una lettura dei dati acquisiti (da satellite, UAV e GPR), agevolando l’utente nelle successive azioni da intraprendere, laddove necessario, e supportandolo attraverso un *workflow* appositamente studiato e tarato.

Anche nell’ambito della fruizione è sottintesa una semplificazione nell’approccio dell’utente finale, in questo caso il visitatore culturale. La possibilità di consultare dati multimediali ufficiali, nonché la disponibilità di soluzioni innovative (Mixed Reality) “a portata di *smartphone*” e nel pieno rispetto delle norme anti-Covid-19, offre una fruizione di qualità e rivolta a tutti, basti pensare all’attuale reticenza nell’indossare un visore 3D o a maneggiare un dispositivo usato da terzi.

I prodotti derivati da questi servizi, una volta messi a sistema, confluiranno in quello che può essere connotato come il *Site Knowledge Hub* che nel tempo, attraverso la partecipazione ad altri progetti che potranno vedere questi stessi siti come scenario di ulteriori attività, si arricchirà divenendo un punto di raccolta, correlazione e consultazione di informazioni (di fruizione e salvaguardia). Pertanto, l’approccio preventivo proposto da AMOR, che mira a innescare una riduzione di costi per gli aspetti legati alla salvaguardia (costi non più orientati all’onerata emergenza, ma alla manutenzione ordinaria) e una fruizione “allargata”, sono concepiti per innescare un circolo virtuoso per ciò che viene definita la *salvaguardia circolare*.

## BIBLIOGRAFIA

- Ferretti, A., Prati, C. and Rocca, F. (2001) Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(1), 8-20.
- I. Catapano, G. Gennarelli, G. Ludeno and F. Soldovieri, “Applying Ground-Penetrating Radar and Microwave Tomography Data Processing in Cultural Heritage: State of the Art and Future Trends,” in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 36, no. 4, pp. 53-61, July 2019, doi: 10.1109/MSP.2019.2895121.
- Carlo Cacace, “La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale in “Il Futuro dei Centri Storici - Digitalizzazione e strategia conservativa”, a cura di Donatella Fiorani, Roma 2019, Edizioni Quasar di Severino Tongon S.r.l, via Ajaccio 43, Roma. ISBN 978-88-7140-925-2, pagg. 65 - 74.
- Giorgio Accardo, Carlo Cacace, Roberto Rinaldi, “Il Sistema Informativo Territoriale della carta del Rischio” in ARKOS - Scienza e Restauro dell’Architettura Nardini Editore Anno VI - Nuova Serie- aprile/giugno 2005.
- M. Carugi, ITU, 2019: “Distinguishing features and high level requirements of 5G/IMT 2020 networks” <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/ArabStates/Documents/events/2019/ET/S1-%20ITU%20Reg%20Forum-Tunis-5G%20IMT2020-presentation-Marco-Carugi-v1.pdf>
- Ericsson, “Applied network slicing scenarios in 5G”, <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/applied-network-slicing-scenarios-in-5g>
- <https://5g-ppp.eu/verticals/>
- <https://artes.esa.int/space-5g>
- <http://www.start-solutions.it/>
- <https://business.esa.int/projects/amor>

## ABSTRACT

*AMOR project focuses on the development of pre-commercial services addressed to the Institutions responsible for the conservation and the valorisation of the Cultural Heritage.*

*Services, developed both for Safeguard and Fruition, will be tested at the Ancient Baths of Caracalla and on Aurelian walls, that will be surveyed with several technologies for the detection of superficial (satellites, UAV) or sub-superficial (GPR) damages/anomalies affecting them.*

*Fruition services will offer to tourists a mobile app equipped with Institutional approved contents and with Mixed Reality experience (3D model) directly available on personal mobile devices. Moreover, the anonymous (previously authorised) tracking of tourists will allow to obtain further information useful for safeguard aspects.*

## PAROLE CHIAVE

BENI CULTURALI; GPR; SATELLITI; MOBILE APP, REALTÀ MISTA; 5G; DATA ANALYTICS

## AUTORE

NICOLE DORE, NICOLE.DORE@NAIS-SOLUTIONS.IT

NAIS - NEXTANT APPLICATIONS AND INNOVATIVE SOLUTIONS

FRANCESCO COCHETTI, F.COCHETTI@COOPCULTURE.IT

COOPCULTURE

ILARIA CATAPANO, CATAPANO.I@IREA.CNR.IT

IREA - CNR - ISTITUTO PER IL RILEVAMENTO ELETTROMAGNETICO DELL’AMBIENTE - CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

MARIA ELENA CORRADO, MARIAELENACORRADO@BENICULTURALI.IT

ICR - ISTITUTO CENTRALE PER IL RESTAURO

CARLO CACACE, CARLO.CACACE@BENICULTURALI.IT

DG-SPC DIREZIONE GENERALE - SICUREZZA PATRIMONIO CULTURALE

PAOLO OSSO, POSSO@ESRI.ITALIA.IT

ESRI ITALIA

MICHELE LUGLIO, LUGLIO@UNIROMA2.IT

NITEL - CONSORZIO NAZIONALE INTERUNIVERSITARIO PER I TRASPORTI E LA LOGISTICA

FRANCESCO ZAMPOGNARO, ZAMPOGNARO@ING.UNIROMA2.IT

NITEL - CONSORZIO NAZIONALE INTERUNIVERSITARIO PER I TRASPORTI E LA LOGISTICA

ILARIA CATAPANO