

## World HERitage monitoring by Remote sEnsing (WHERE)

Renzo Carlucci (\*), Alessio Di Iorio (\*\*), Marco Folegani (\*\*\*),  
Maria Marsella(\*\*\*\*), Antonio Monteleone (\*\*\*\*\*), Simone Mantovani (\*\*\*),  
Alessandro Placidi (\*\*), Nazzareno Straccia (\*\*)

(\*) A&C2000 srl, Roma  
(\*\*) ALMA Sistemi sas, Guidonia  
(\*\*\*) MEE0 srl, Ferrara  
(\*\*\*\*) SurveyLab, Roma  
(\*\*\*\*\*) Nextant Spa, Roma

### Abstract

The fast pace of human grow requires a continuous monitoring of World Heritage sites, especially where urbanization poses major risks to the site preservation. Factors like human activities, meteorology (including pollution) and structural stability of the remains affect the possibility to preserve these assets for the future generations. The project World HERitage monitoring by Remote sEnsing (WHERE) has the primary objective to develop and demonstrate an operational system and a cost effective service based on remote sensing to monitor UNESCO sites in urban areas. The project aim to address the following factors: urbanization and human activities; small scale meteorological and climate change impact; geotechnical and structural stability of the building and the surrounding land. The above elements will be addressed by implementing three separate data processing chains: *Change Detection*, *Microclimate* and *Interferometry*. The human activities will be monitored by using Change Detection technologies applied to optical and high resolution radar images. The Microclimate will take in consideration air humidity and temperature, soil temperature and particulate (PM2.5 and 10) while structural stability will be addressed using DInSAR Interferometry techniques applied to Cosmo-SkyMed data. The data processing chains will be integrated into a WebGIS system where multi-temporal analysis is performed and final results displayed. The final products include updated risk maps addressing critical situation and the evolution of the parameters under monitoring. The project foresees an extended demonstration phase of 6 months on the following test sites in Italy: Historical center of Rome; The “Sassi e il Parco delle Chiese Rupestri di Matera”; Ostia Antica and Ancient Harbor.

The project is co-funded by Italian Space Agency and is carried out by a consortium of Italian SMEs led by NEXTANT SpA and supported by ALMA Sistemi sas, A&C2000 Srl, MEE0 Srl and SurveyLAB. The project started in February 2012 and the present article describes the preliminary results of the project.

### Introduzione

La crescente urbanizzazione in molte aree del mondo richiede un monitoraggio continuo dei siti UNESCO. Fattori come le attività umane, il microclima (incluso l'inquinamento) e la stabilità strutturale dei monumenti incidono sulla possibilità di preservare i beni culturali (APAT, 2006). Il progetto WHERE (*World HERitage monitoring by Remote sEnsing*) ha come obiettivo principale lo sviluppo e l'applicazione di un sistema operativo e a basso costo, basato sul processamento di immagini satellitari, per il monitoraggio dei siti UNESCO in area urbana. Verranno quindi monitorati gli elementi antropici, meteo-climatici e geotecnico-strutturali, tramite l'implementazione di tre differenti catene di processamento, denominate rispettivamente *Change Detection*, *Meteoclimate* e *Interferometry*. Queste faranno uso sia di immagini satellitari radar ad

alta risoluzione Cosmo-SkyMed, che di immagini ottiche e multispettrali; i prodotti delle tre catene di processamento verranno inoltre integrate in un sistema Web-GIS in cui saranno eseguite analisi multi-temporali e visualizzati i risultati finali. I prodotti finali includeranno mappe di rischio riguardanti le situazioni critiche e i parametri sotto osservazione. Il progetto prevede un'estesa fase di dimostrazione di sei mesi sui seguenti siti dimostrativi: Centro storico di Roma; Sassi e Parco delle Chiese Rupestri di Matera; Ostia Antica e area dell'Antico Porto.

WHERE è cofinanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e realizzato da un consorzio di PMI guidato da NEXTANT SpA e supportato da ALMA Sistemi sas, la A&C2000 Srl, la MEEO Srl e la SurveyLAB. Il progetto è iniziato nel Febbraio 2012 e il presente articolo intende descriverne i principali elementi e i risultati preliminari.

### **Il Progetto WHERE**

La Commissione per il Patrimonio Mondiale dell'UNESCO ha dichiarato patrimonio mondiale dell'umanità 890 siti nel mondo che formano una parte essenziale del patrimonio culturale e naturale del pianeta. Di questi, una notevole percentuale sono localizzati nell'area mediterranea, dove storicamente si sono sviluppate le culture più antiche del mondo moderno, e ben 44 si trovano in Italia. Molti di questi siti, inoltre, inclusi siti archeologici di notevole rilevanza, coincidono con centri storici di città caratterizzati da un elevato grado di urbanizzazione con conseguente impatto ambientale dovuto al traffico e all'inquinamento con variazioni microclimatiche locali su una scala temporale breve (UNESCO, 2010).

L'iscrizione di un sito alla lista UNESCO richiede che gli Stati membri, attraverso le autorità locali, si impegnino alla gestione, al monitoraggio e alla conservazione di questi; in particolare esiste l'obbligo di redigere con cadenza periodica dei rapporti sullo stato di conservazione dei siti e sulle misure messe in opera per preservare gli stessi (UNESCO, 2011a; 2011b).

Il progetto *World HEritage monitoring by Remote sEnsing* (WHERE), cofinanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), ha come obiettivo primario lo sviluppo e la dimostrazione di un servizio operativo efficiente e a basso costo, basato su immagini satellitari, per il monitoraggio sul breve periodo dei siti UNESCO in aree urbane (Carlucci et al., 2011).

Per offrire un'alternativa completa ai metodi tradizionali attualmente in uso alle autorità locali preposte al monitoraggio dei siti, il progetto intende estendere il monitoraggio ai seguenti elementi:

- Antropici (impatto umano sull'ambiente)
- Meteorologici (impatto sulla vulnerabilità dei monumenti)
- Geotecnico-strutturali (deformazioni dei terreni e strutture)

I dati acquisiti da *Remote Sensing* saranno processati utilizzando tre catene di processamento denominate: *Change Detection* (per gli elementi antropici), *Microclimate* (elementi meteorologici) e *Interferometry* (elementi geotecnico-strutturali) (Moon et al., 2002; Ben-Arie, Rao, 1993). Le informazioni puntuali ed areali saranno integrate in un sistema Web-GIS che permetterà la loro visualizzazione integrandole con le mappe di cambiamento rilevate da immagini satellitari. Il sistema Web-GIS includerà funzioni di analisi multi-temporali delle informazioni ricavate dai dati satellitari che, con cadenza periodica (settimanale/mensile), permetteranno di evidenziare le variazioni spaziali delle strutture e degli agglomerati urbani. In base alla criticità dell'evento potranno essere predisposti dei sistemi di segnalazione tempestiva, compilate mappe correlate alla vulnerabilità dei siti ed estrapolati degli andamenti di evoluzione dei parametri sotto monitoraggio.

WHERE ha inoltre lo scopo di sviluppare e diffondere *know-how* avanzato e tecnologie innovative nel settore di osservazione della Terra applicabili alla conservazione dei beni culturali, sviluppi resi possibili dalla disponibilità dei dati acquisiti dai nuovi sensori ASI ed in particolare dalla costellazione Cosmo-SkyMed.

Il sistema intende avvalersi di immagini satellitari ad alta risoluzione, in particolare SAR Cosmo-SkyMed per *Change Detection* e *Interferometry*, immagini ottiche per la *Change Detection* e immagini multispettrali (es. Modis, Landsat, Aster) per *Microclimate*, opportunamente processate ed integrate nel sistema Web-GIS (Di Iorio et. al., 2011; Carlucci, Di Iorio, 2010).

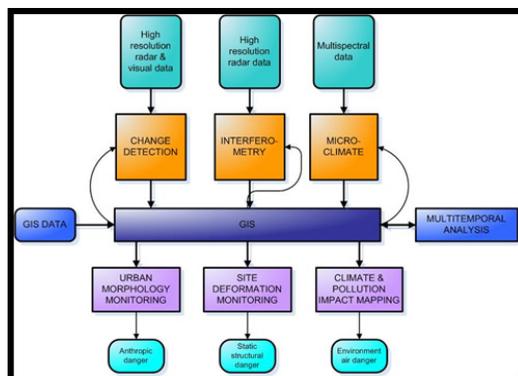


Figura 1. Il sistema WHERE.

Sono stati definiti tre siti dimostrativi in cui la metodologia di servizio sarà applicata, verificata ed infine validata:

- Centro storico di Roma, le proprietà extraterritoriali della Santa Sede nella città e San Paolo fuori le Mura (sito dell'UNESCO dal 1980) con copertura parziale esteso al Parco Regionale dell'Appia Antica;
- i Sassi e il Parco delle Chiese Rupestri di Matera (sito dell'UNESCO dal 1993);
- Ostia Antica e l'area dell'Antico Porto.

Il sistema così sviluppato sarà estensibile all'intero patrimonio dei centri storici Italiani in considerazione dell'attuale politica del Ministero dei Beni Culturali che ha definito le linee guida per l'acquisizione e l'analisi dei dati per una carta del rischio del patrimonio culturale che sia di supporto scientifico e amministrativo agli Enti statali e territoriali preposti alla tutela dello stesso. Il sistema è inoltre in linea con le linee guida del bilancio del Ministero dei Beni Culturali che prevede lo spostamento delle ridotte risorse economiche disponibili dall'intervento "correttivo" al monitoraggio e all'intervento preventivo "leggero".

### Definizione dei requisiti utente: i prodotti WHERE

Durante la fase preliminare ed in quella iniziale del progetto sono stati definiti i bisogni utente (ciò che viene ritenuto necessario dagli *stakeholders* per il monitoraggio e la salvaguardia dei siti UNESCO) e i requisiti utente (che ne rappresentano la reale formalizzazione, ciò che è richiesto per condurre il monitoraggio tramite WHERE). L'attività di definizione e programmazione dei requisiti utente si è basata su:

- Studi sulla letteratura: documenti sulla politica di salvaguardia, conservazione, promozione e management dei beni culturali; regolamenti nazionali ed internazionali; documenti UNESCO sulla gestione dei siti affiliati; documenti pubblicati dai manager dei siti UNESCO; documenti pubblicati dagli organi consultivi dell'UNESCO (ICCROM; ICOMOS; IUNC).

- Analisi dei siti dimostrativi: allo scopo di evidenziare le diverse peculiarità e gli specifici requisiti per ciascuno di questi.
- Confronto con i vari stakeholders: Comitato UNESCO; Stati membri; organi consultivi dell'UNESCO; autorità e agenzie nazionali e locali; manager e team dei siti UNESCO; Forze Armate nazionali (Arma dei Carabinieri, Corpo Forestale dello Stato ecc.); Protezione Civile nazionale e regionale; istituti e agenzie nazionali (ISPRA) e regionali (ARPA) per la protezione ambientale.

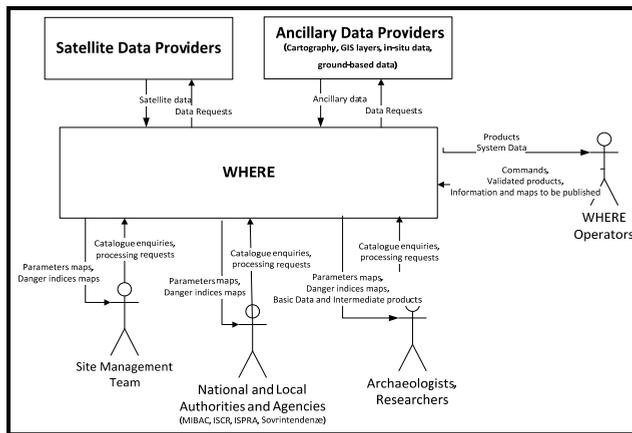


Figura 2. Diagramma del Contesto WHERE.

Sono state quindi identificate alcune priorità circa la salvaguardia e la conservazione dei beni culturali: il punto focale è rappresentato dalla possibilità di usufruire di metodologie efficienti e sostenibili, per gestire e monitorare le risorse culturali riducendo e ottimizzando i costi, ma allo stesso tempo assicurando la conservazione del patrimonio naturalistico e storico. Tale obiettivo dovrebbe essere raggiunto tramite le attività di prevenzione dei danni e di riduzione dei rischi (approccio preventivo); inoltre, il bene culturale dovrebbe essere preservato in tutte le sue componenti architettoniche, strutturali e ambientali (approccio olistico); infine, viene auspicata l'utilizzazione di tecniche non invasive applicabili ad ampie aree.

Alcune prioritarie emergenze connesse ai rischi naturali e antropici sono state perciò evidenziate:

- Monitoraggio sistematico della pressione antropica  
Strumenti di monitoraggio in grado di identificare discariche illegali, abusivismo edilizio o l'impatto di nuove costruzioni sulla buffer zone; contaminazione dell'atmosfera, del suolo e dell'acqua (sia sotterranea che di superficie).
- Monitoraggio sistematico dei rischi geotecnico-strutturali  
Strumenti di monitoraggio rapidi ed efficienti in grado di fornire informazioni e mappe di rischio geotecnico-strutturale applicabili ad ampie zone con alto dettaglio spaziale al fine di monitorare le condizioni dei singoli edifici.
- Monitoraggio sistematico del rischio idro-geologico  
Strumenti di monitoraggio rapidi ed efficienti in grado di fornire informazioni e mappe di rischio idro-geologico per ampie zone e con grande dettaglio spaziale (soprattutto frane).
- Monitoraggio sistematico dei parametri ambientali, incluso l'inquinamento  
E' riconosciuta l'importanza del monitoraggio dei parametri ambientali, compreso l'inquinamento, per fornire informazioni precise sui fattori che sono causa di accelerazione del processo di deterioramento dei beni culturali.

- Monitoraggio sistematico dell'impatto del cambiamento climatico e dei parametri microclimatici

Al fine di monitorare e quantificare l'impatto dei cambiamenti climatici e dei parametri microclimatici sui monumenti e gli edifici storici.

Il sistema WHERE si propone quindi di fornire una serie di prodotti ottenuti tramite monitoraggio satellitare, al fine di valutare e quantificare i cambiamenti in corso e di estrarne mappe dei rischi antropico, meteo-climatico e geotecnico-strutturale.

Una serie di mappe di base dei vari parametri sotto osservazione verranno realizzate in modo sistematico, per ampie aree e basate su un approccio economico sostenibile:

- Mappe di variazioni verticali: per il monitoraggio della stabilità degli edifici storici.
- Mappe dei movimenti del suolo: al fine di valutare la propensione di un'area a fenomeni di frane e smottamenti.
- Mappe di pressione antropica: per monitorare ogni cambiamento in atto in una determinata zona (abusivismo edilizio; scavi illegali ecc.).
- Mappe dei principali inquinanti atmosferici associati alla loro variabilità spaziotemporale e analisi statistiche (variazioni massime e minime; gradienti ecc.).
- Mappe di temperatura e umidità associate alla loro variabilità spaziotemporale e analisi statistiche (variazioni massime e minime; gradienti ecc.).

Inoltre, verranno elaborate una serie di mappe di rischio per ognuna dei tre parametri sotto monitoraggio.

Rischio antropico: Indice di degrado per espansione urbana (mappa di abusivismo edilizio); Indice di degrado connesso a discariche abusive; Indice di degrado territoriale connesso a scavi o lavori illegali o legali; Mappe di identificazione di strutture archeologiche (sconosciute o investigate in passato).

Rischio ambientale: Indice di erosione superficiale dei monumenti; Indice di annerimento degli edifici; Indice di stress fisico dei monumenti; Mappe LST HR; Mappe LST MR; Mappe AirTemp; Mappe RH; Mappe PM10; Mappe PM2.5.

Rischio geologico-strutturale: Interferogrammi differenziali; Mappe di coerenza interferometriche SAR; Mappe di intensità; Mappe di deformazione interpolate; mappe di velocità media.

### **Scenari applicativi e strategia di verifica e validazione**

Per quanto riguarda gli obiettivi e le finalità del progetto WHERE, sono stati identificati una serie di scenari applicativi concernenti le tre differenti catene di processamento precedentemente illustrate:

- Identificazione di costruzioni illegali (abusivismo edilizio) nei siti UNESCO e relative *buffer zones*
- Identificazione di nuovi scavi o aree di lavoro all'interno dei siti UNESCO (es. scavi legali o illegali)
- Monitoraggio della pressione e del rischio antropico nella *buffer zone* dei siti UNESCO
- Monitoraggio dei rischi ambientali, incluso l'inquinamento, nei siti UNESCO
- Monitoraggio dei rischi geologico-strutturali nei siti UNESCO
- Identificazione di strutture archeologiche sepolte, investigate in passato, la cui localizzazione è nota e la cui forma e posizione sono conosciute con scarsa approssimazione
- Identificazione di strutture archeologiche sepolte, investigate in passato, la cui localizzazione è conosciuta con scarsa approssimazione e la cui forma e posizione sono note
- Identificazione di strutture archeologiche sepolte non ancora messe in luce, in un'area caratterizzata da buona probabilità di contenere resti archeologici

- Attività di supporto ai siti UNESCO e alle autorità competenti nella preparazione delle relazioni periodiche
- Attività di supporto ai siti UNESCO e alle autorità competenti nell'esecuzione del Monitoraggio Reattivo
- Attività di supporto ai siti candidati nella raccolta dei dati e nella preparazione delle relazioni periodiche da presentare alla Commissione UNESCO

Le attività di Verifica avranno lo scopo di dimostrare, attraverso specifici processi, che WHERE soddisfi i requisiti di sistema indicati. Tale processo farà quindi uso di metodi qualificativi (test) e di procedure dedicate per ogni specifico requisito di sistema e per ogni *dataset* composto da *imput-data-expected-output-data*.

Le attività di Validazione avranno lo scopo di dimostrare la capacità di WHERE di soddisfare i requisiti utente. Il servizio WHERE opererà perciò all'interno di scenari ben definiti e con prodotti finali che saranno validati tramite l'utilizzazione di dati reali, misurazioni in situ e attraverso il coinvolgimento di professionisti esperti e utenti finali del Servizio.

La strategia di Verifica e Validazione interesserà quindi una serie di casi studio (*Test Cases*) che sono stati individuati per ciascuna catena di processamento e in riferimento ai differenti scenari applicativi, per i tre siti dimostrativi.

In particolare, per quanto concerne la catena di processamento *Change Detection*, sono stati scelti i seguenti *test cases*:

- Roma, Centro Storico: Palatino; Via Giulia; Testaccio.
- Roma, Parco Regionale dell'Appia Antica: Villa Capo di Bove; Villa delle Vignacce; Ninfeo di Egeria.
- Ostia: Area di Ostia Antica; Buffer Zone; Antico Porto di Traiano; Isola Sacra.
- Matera: Parco delle Chiese Rupestri; Buffer Zone.

L'attività di *Change Detection* sarà inoltre estesa all'area archeologica di Tindari, in Sicilia, con particolare riferimento all'identificazione di strutture archeologiche sepolte e non ancora investigate.



Figura 3. *Change Detection*: Identificazione di nuovi scavi (Roma - Appia Antica, Villa Capo di Bove).

La Verifica e Validazione della catena di processamento *Meteoclimate* avrà lo scopo di fornire mappe dei parametri meteo-climatici riguardanti aree di interesse che includono sia grandi centri storici urbani, sia centri di piccole città con particolari monumenti storici. I prodotti PM10, PM2.5, LST e mappe di temperatura e umidità dell'aria costituiranno quindi i dati di input per stimare l'impatto climatico sui monumenti storici. Tale attività interesserà due *test cases*:

- Roma, Centro Storico.
- Matera, Parco delle Chiese Rupestri.



Figura 4. *Interferometry: serie temporali da dati SAR Cosmo-SkyMed (Ostia - Antico Porto).*

La Verifica e Validazione della catena di processamento *Interferometry* verrà effettuata tramite: confronto tra mappe di deformazione e risultati delle analisi sui dati SAR ERS-ENVISAT (1992-2010); confronto tra mappe di deformazione ottenute da interferogrammi differenziali Cosmo-SkyMed (2011) e misurazioni in situ e dati bibliografici; confronto tra serie temporali di spostamento ricavate da dati SAR Cosmo-SkyMed (2012) e processati durante il progetto e serie temporali di precedenti progetti, misurazioni in situ e dati bibliografici. Tale attività interesserà i seguenti *test cases*:

- Roma, Centro Storico.
- Ostia, Antico Porto di Traiano.
- Matera, specifiche aree selezionate.

### **Conclusioni**

Alla data di presentazione di questa relazione WHERE ha concluso le due fasi iniziali di progetto. la PDR (Preliminary Data Review) e la CDR (Critical Data Review) dando inizio allo sviluppo vero e proprio del sistema che durerà circa 12 mesi, cioè almeno fino al Settembre 2013. Particolari rapporti con gli utenti finali e le Istituzioni competenti sono stati attivati al fine di validare e verificare i risultati dei processi. Tra questi l'ISCR (Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro) - per il Sistema Informativo della Carta del Rischio del Patrimonio Culturale - e l'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale).

Sarà inoltre possibile seguire i progressi e lo stato di avanzamento del progetto direttamente sul sito web, disponibile all'indirizzo <http://www.progetto-where.it/>.

### **Bibliografia**

- APAT - Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (2006), "L'impatto dell'inquinamento atmosferico sui beni di interesse storico-artistico esposti all'aperto".
- Ben-Arie J. and Rao K.R. (1993), "A Novel Approach for Template Matching by Nonorthogonal Image Expansion", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol. 3, pp. 71-84.
- Carlucci R.; Di Iorio A.; Placidi A.; Pichini M. (2011), "WHERE. Monitoraggio di siti archeologici da satellite"; *Archeomatica*, Anno II, Numero 3.
- Carlucci R., Di Iorio A. (2010), "Monitoraggio di siti archeologici da satellite. Un metodo ibrido tramite Remote Sensing, tecniche GIS e un algoritmo di rilevamento della forma utilizzabile su immagini SAR"; *Archeomatica*, Anno I, Numero 4.

Di Iorio A.; Bridgwood I.; Rasmussen M.; Sorensen M.; Carlucci R.; Bernardini F. and Osman A. (2011), "Automatic detection of archaeological sites using a hybrid process of Remote Sensing, GIS techniques and a shape detection algorithm", *Proceedings of the 29th EARSeL Symposium*, Chania, Greece.

Moon H.; Chellapa R. and Rosenfeld A. (2002), "Optimal Edge-based Shape Detection", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 11, No. 11.

UNESCO (2010), "Managing Disaster Risks for World Heritage", <http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-630-1.pdf>.

UNESCO (2011a), "Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention", <http://whc.unesco.org/en/guidelines>.

UNESCO (2011b), "*Preparing World Heritage Nominations*", Second Edition, November 2011.