



## Progetto ADAMO

Tecnologie di analisi, diagnostica, monitoraggio per la  
conservazione e il restauro dei beni culturali

### Relazione Tecnica Sintetica

sullo Stato Avanzamento Lavori  
al 3 Luglio 2019

WP6 – Task5

Sensori per il monitoraggio  
basati su tecnologia in fibra ottica FBG

**Autori:** Michele Arturo Caponero e Rosaria D'Amato  
ENEA – FSN/TECFI/MNF – Centro Ricerche Frascati

**Sommario:**

Si riporta lo stato di avanzamento delle attività svolte per l'allestimento dei dimostratori presso il ninfeo Ponari (Cassino FR) e le mura Aureliane (Roma) al 3 luglio 2019.

**Premessa alle attività presso i dimostratori**

Le attività sono state svolte presso due siti, il ninfeo Ponari di Cassino (FR) e la torre L3 delle mura Aureliane (Roma). Per entrambi i siti le attività considerano l'utilizzo integrato di tre tecniche: fotogrammetria con acquisizione dei quadri fessurativi e ricostruzione 3D mediante Structure From Motion; rilievi topografici con scansione delle superfici e punti materializzati; installazione di fessurimetri e sensori di umidità basati su tecnologia in fibra ottica.

Per le due tecniche estese -fotogrammetria e rilievi topografici- è stato eseguito il primo rilievo e si procederà con ulteriori rilievi nel corso del progetto ADAMO per verificare la stabilità dei quadri fessurativi e la condizione di staticità dei macro-elementi strutturali. La installazione dei sensori basati su tecnologia in fibra ottica è prevista nel mese di Settembre 2019, seguendo le indicazioni scaturite dallo studio dei quadri fessurativi acquisiti mediante fotogrammetria. Per entrambi i siti, la installazione di fessurimetri associata alla installazione di sensori di umidità risulta di particolare interesse, essendo la imbibizione del terreno (ninfeo Ponari, seminterrato) e delle pareti (mura Aureliane, pareti in parte a sacco) conseguente le precipitazioni meteoriche, una potenzialmente importante causa di attivazione di meccanismi di ammaloramento. Alla installazione dei sensori in fibra ottica, seguirà la esecuzione di campagne di monitoraggio continuativo da ripetere periodicamente nel corso del progetto ADAMO.

**Attività presso il dimostratore ninfeo Ponari**

Il ninfeo Ponari, si trova, non lontano dal teatro, nell'antica città, prima volsca e poi romana, di Casinum. Il monumento rappresenta uno degli esempi meglio conservati della tipologia della coenatio aestiva, annesso di una ricca domus risalente nel suo impianto all'età augustea. Il ninfeo, come l'atrio antistante, era caratterizzato da una mirabile decorazione a incrostazione, tipica degli ambienti imitanti antri e grotte. Essa venne sostituita, nella seconda metà del I secolo d.C., da intonaci dipinti, nell'interno a marmoridea, nell'atrio a tema di giardino. I recenti scavi del 2014 hanno portato alla scoperta di nuovi pavimenti musivi, coevi alla prima fase decorativa parietale, i quali si aggiungono al pregevole mosaico a fondo tricromo con crustae marmoree del ninfeo, nonché nuove pitture, probabile datazione tra III e IV stile (I sec. d.C.) [ref. sito WEB MiBaC].

La figura 1 mostra la ricostruzione 3D del ninfeo, eseguita con elaborazione Structure From Motion del rilievo fotogrammetrico; il modello realizzato è stato completamente scalato. Il rilievo fotogrammetrico consta di oltre 300 immagini, l'elaborazione del modello 3D è stato effettuato su infrastruttura di calcolo CRESCO con supporto di ENEA DTE-ICT-HPC.

La figura 2 mostra a titolo esemplificativo la marcatura di due fessure. La fessura più in basso risulta di particolare interesse, essendo elemento di una serie di fessure che si susseguono quasi senza discontinuità fra l'attacco della volta e l'intera parete. La fessura più in alto interessa la volta e risulta essenzialmente elemento isolata.

La figura 3 mostra rendering di parte delle misure topografiche ad alta risoluzione eseguite con scansione superficiale automatizzata.

La attività svolta presso il ninfeo Ponari si avvale della collaborazione della Università di Cassino.

**Attività presso il dimostratore mura Aureliane**

Le Mura aureliane, cinta muraria con inizio costruzione nel 270dc ed oggetto di numerosi interventi di modifica e ripristino in epoche successive, si sviluppano oggi per oltre 10km in condizioni di buono stato, con altri tratti in condizioni decisamente critiche. Le attività del progetto COBRA si focalizzano sul tratto del camminamento delle mura accessibile dal Museo delle Mura (Porta San Sebastiano) ed in particolare sulla torre L3.

La figura 4 mostra la ricostruzione 3D della torre, eseguita con elaborazione Structure From Motion del rilievo fotogrammetrico; il modello realizzato è stato completamente scalato.

### **Attività di produzione dei sensori di Umidità basati su tecnologia in fibra ottica**

La produzione dei sensori di umidità è svolta applicando le conoscenze maturate nell'ambito del precedente progetto COBRA [cobra.enea.it], con attività di R&D volta prevalentemente al miglioramento delle specifiche prestazionali dei sensori stessi. I sensori sono prodotti con deposizione di coating igroscopici reversibili su sensori in fibra ottica del tipo FBGm che risultano idonei a cablaggio in serie con sensori del tipo fessurimetri basati su stessa tecnologia. Tale possibilità semplifica le operazioni di cablaggio e ne riduce apprezzabilmente l'invasività come opportuno per applicazioni in ambito museale e BBCC. Le criticità di produzione di sensori caratterizzati da spessore particolarmente sottile, voluto per minimizzare la invasività e visibilità, riscontrate nel corso delle precedenti attività svolte sono state superate grazie all'impiego di chitosano per la produzione del coating.

La figura 5 mostra una misura per la calibrazione di un sensore di umidità: il grafico in alto riporta la traccia nel tempo del sensore basato su tecnologia FBG; la traccia in basso riporta la traccia nel tempo del sensore di riferimento. Dalsee valutazioni quantitative risulta correlazione ottima (>99%) con sensitivity per il sensore FBG migliore di 0.5RH.



Figura 1: ninfeo Ponari, ricostruzione 3D ottenuta con elaborazione Structure From Motion del rilievo fotogrammetrico.



Figura 2: ninfeo Ponari, marcatura sul modello 3D di fessure presenti sulle pareti e sulla volta.

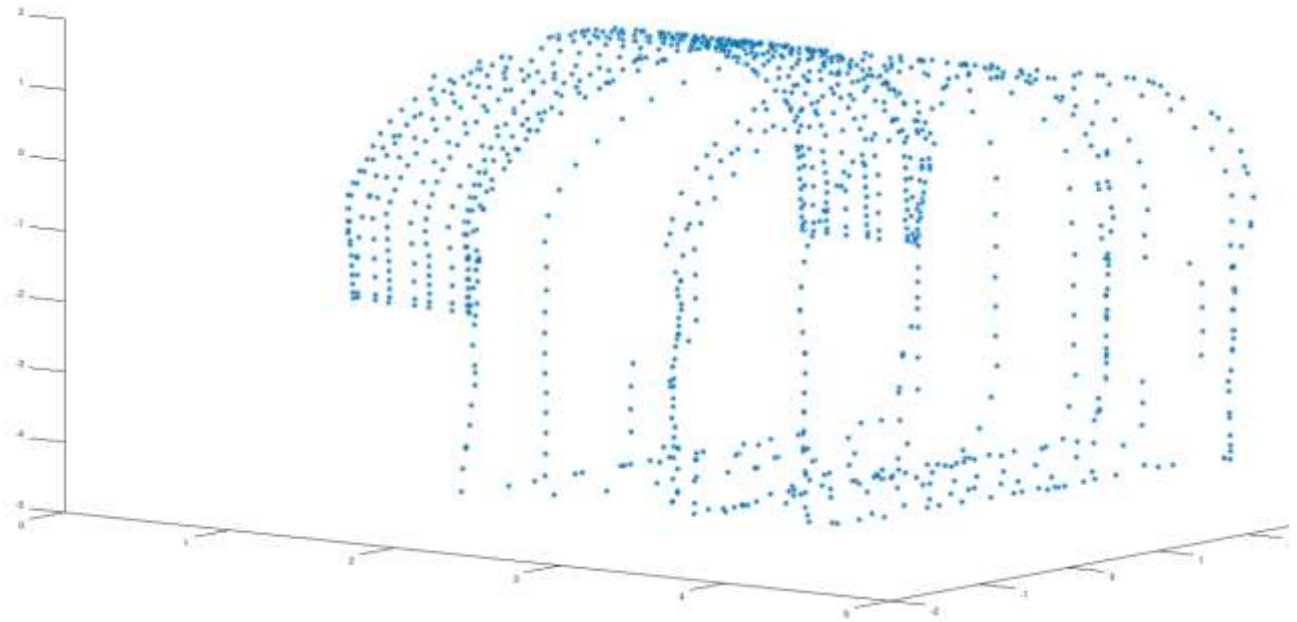


Figura 2: ninfeo Ponari, rendering parziale delle misure topografiche ad alta risoluzione eseguite con scansione superficiale automatizzata.



Figura 4: mura Aureliane, uno degli angoli interni della torre L3, ricostruzione 3D ottenuta con elaborazione Structure From Motion del rilievo fotogrammetrico.

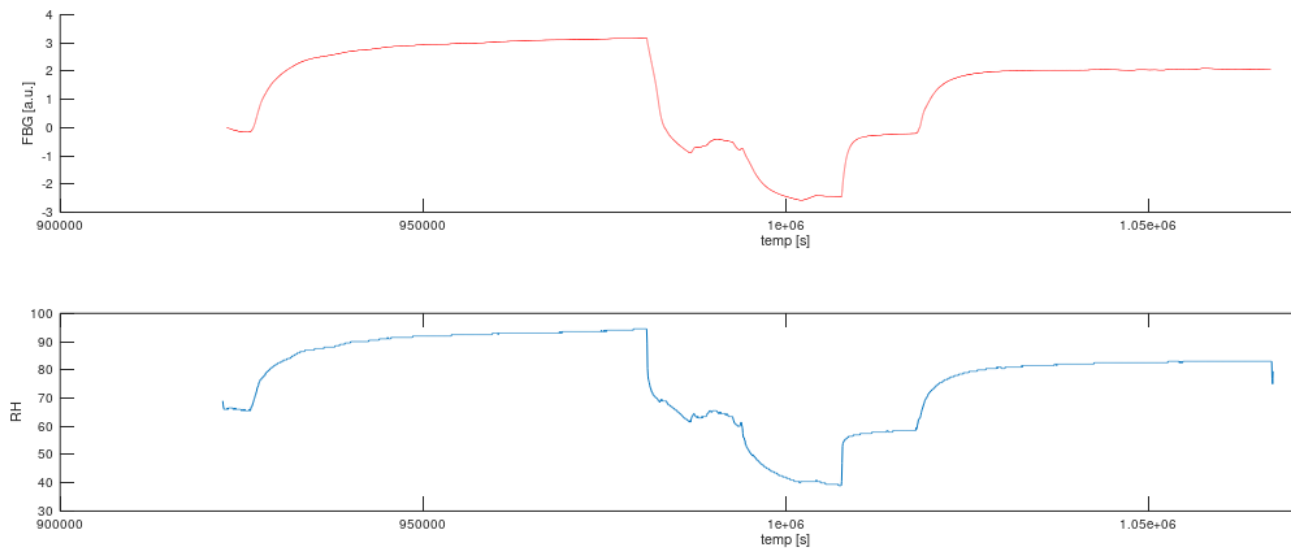


Figura 5: confronto fra la misura di RH ottenuta con il sensore innovativo FBG (traccia in alto) e sensore tradizionale elettronico di riferimento (traccia in basso).