

COMUNICATO STAMPA

La Cupola di Brunelleschi il monumento antico più monitorato al mondo

Al via l'aggiornamento e l'implementazione del sistema di monitoraggio della Cupola di Brunelleschi

I lavori finanziati nell'ambito del **Piano Nazionale Ripresa e Resilienza**

Al via i lavori di aggiornamento e implementazione del sistema di monitoraggio della Cupola di Brunelleschi. Il nuovo impianto di monitoraggio, che andrà ad aggiungersi a quello esistente, utilizzerà tecnologie di ultima generazione che permetteranno di rilevare con precisione deformazioni, spostamenti e accelerazioni, fornendo una risposta dettagliata sul comportamento strutturale della Cupola.

Il nuovo sistema di monitoraggio sarà pronto entro la fine del 2025 e avrà un costo totale di 662 mila euro finanziati nell'ambito del **Piano Nazionale Ripresa e Resilienza (PNRR)**, dall'**Unione Europea** e da **Nowtech Solutions srl**, a fronte di un progetto di ricerca elaborato e presentato dal **Dipartimento di Statistica, Informatica, Applicazioni dell'Università degli Studi di Firenze** e dall'**Opera di Santa Maria del Fiore**.

Il progetto esecutivo di Nowtech Solutions srl e IP Ingegneria srl, dal titolo **Gestione Smart dello Structural Health Monitoring del Heritage Italiano: il caso Brunelleschi**, verrà realizzato con la direzione dei lavori dell'Opera di Santa Maria del Fiore, la consulenza di Dipartimenti DiSIA, DiCEA e DST dell'Università degli Studi di Firenze e sotto l'Alta Sorveglianza della **Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Firenze, Prato e Pistoia**.

La Cupola di Brunelleschi, che dal 1436 si erge sulla città di Firenze, è ancora oggi la cupola in muratura più grande al mondo. Questo straordinario monumento, realizzato senza l'uso di centine, rappresenta una sfida ingegneristica unica che, probabilmente presenta fin dalle origini, anche problematiche strutturali che necessitano di una continua attenzione. Per questo, il monitoraggio strutturale della Cupola è una delle attività più importanti svolte dall'Opera di Santa Maria del Fiore. Al rilevamento e raccolta manuale dei dati, iniziato nel 1934, dal 1987 si è aggiunto un sistema di monitoraggio automatizzato che negli ultimi anni l'Opera ha esteso agli altri monumenti: Cattedrale, Campanile e Battistero di San Giovanni.

Rispetto al sistema già esistente di monitoraggio della Cupola, concentrato nel misurare i comportamenti delle principali lesioni, i nuovi sensori saranno distribuiti omogeneamente su tutta struttura architettonica. Si tratta di sensori quali: **accelerometri triassiali**, posizionati su tre livelli della struttura per rilevare e misurare accelerazioni e vibrazioni anomale, **inclinometri biassiali**, collocati in punti specifici per monitorare le deformazioni angolari, **trasduttori di posizione lineare**, situati sui costoloni angolari per registrare, con estrema precisione, eventuali spostamenti. L'impianto è completato da **sensori di temperatura** che analizzano l'effetto delle variazioni termiche sulle murature. Infine, un laser scanner fornisce una mappatura tridimensionale della Cupola, utile per integrare le misurazioni e comprendere al meglio le caratteristiche geometriche e strutturali.

Grazie a questo nuovo sistema potranno essere raccolte informazioni esaustive e comprendere più approfonditamente la natura e il comportamento delle strutture e delle lesioni. Questo renderà possibile creare una piattaforma di dati che faciliterà la condivisione delle informazioni tra tecnici e ricercatori ed effettuare analisi dettagliate con strumenti tecnologicamente avanzati. Si tratta quindi di un perfetto connubio tra innovazione tecnologica e tradizione per preservare la sicurezza strutturale, prevedere i rischi, ed attuare una efficace protezione contro le forme di degrado strutturali di uno dei più grandi capolavori della storia dell'architettura garantendone il più possibile fruibilità e sicurezza, e potrà essere replicato su altre complesse strutture ad alto valore storico.

Mi sento di poter dire - afferma il **presidente dell'Opera di Santa Maria del Fiore, Luca Bagnoli** - che la Cupola di Brunelleschi risulta essere così attentamente monitorata, perseguendo finalità sia di tutela e conservazione sia di ricerca scientifica”.

“L'aggiornamento del sistema di monitoraggio permetterà di affinare l'identificazione delle anomalie e di implementare strumenti predittivi per l'evoluzione strutturale del monumento, anche grazie all'impiego di specifiche tecniche di intelligenza artificiale” riferisce **Bruno Bertaccini, Professore di Statistica del Dip.to DiSIA “G. Parenti” dell'Università degli Studi di Firenze e proponente del progetto.**

“Rilevare, monitorare, indagare - spiega la **Soprintendente Antonella Ranaldi** - aiuta a capire e a tenere sotto controllo il comportamento nel tempo della cupola, nell'ottica della prevenzione e conoscenza con l'ausilio di strumenti avanzati di raccolta ed elaborazione dei dati, che si aggiungono a quelli esistenti”.

“Siamo veramente onorati di essere stati prescelti dagli organi deputati per eseguire questa attività di implementazione dei sistemi di monitoraggio della Cupola di Brunelleschi; la nostra esperienza, maturata in anni di studio e di attività sul campo, sarà messa a disposizione per la tutela di uno tra i più straordinari beni architettonici esistenti al mondo”, afferma **Giulio Delitala, Direttore di Nowtech Solutions e delegato di IP Ingegneria.**

In breve la storia dei monitoraggi della Cupola di Brunelleschi

Se si fa eccezione per i primi fenomeni fessurativi che interessarono le navate laterali nei pressi della Cupola, oramai univocamente attribuiti all'assestamento strutturale delle fondazioni e registrati a ridosso della conclusione dei lavori di costruzione della stessa, dei problemi strutturali della più grande cupola in muratura al mondo si iniziò a parlare solo a partire dal 1639. Fu in quell'anno che l'architetto dell'Opera del Duomo, Gherardo Silvani, stese una relazione che evidenziava la presenza di una serie di lesioni passanti e descrisse le soluzioni progettuali di "rilegatura" da mettere in atto”. Per trovare traccia della redazione di un primo rilevamento organico del “quadro fessurativo, occorrerà attendere un altro secolo: nel 1756, il gesuita, astronomo, ingegnere, geografo, Leonardo Ximenes realizzerà una prima campagna “involontaria” di raccolta dati, nell'ambito degli studi per testare la stabilità della struttura architettonica della cupola, per garantire la precisione dello strumento dello Gnomone nel Duomo. Solo nel XX secolo con la nomina della Prima Commissione Ministeriale per lo studio dei plessi fessurativi (1934 – 1937) e grazie a padre Guido Alfani, direttore dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze, furono adottati sistemi di misurazione più rigorosi. L'avvento della Seconda Guerra Mondiale causò la sospensione dell'attività di monitoraggio e osservazione continua. Solo al termine del conflitto, con la nomina della Seconda Commissione Ministeriale, nel

1950, ripresero le operazioni di monitoraggio. Con la nomina della Terza Commissione Ministeriale, attiva dal 1975 al 1976, venne avviato un nuovo sistema che vide l'implementazione delle stazioni di rilevamento da 22 a 50. Questo sistema di rilevamento e raccolta manuale dei dati fu affiancato a partire dal 1986/1987 da un nuovo sistema di monitoraggio automatizzato. Progettato e realizzato dall'ISMES (divisione engineering e environment di Cesi) ed oggi gestito e mantenuto da Cesi e Opera di Santa Maria del Fiore, il sistema analizza, mediante l'aggiunta di 72 sensori - tra cui trasduttori di posizionamento, telecoordinometri, livellometri, sonde piezometriche, termometri - le strutture della Cupola e del suo basamento. Negli ultimi anni sono stati installati anche dei sismometri per il rilevamento delle vibrazioni della struttura e di micro eventi sismici.

Delle strutture dei monumenti ed in particolare della struttura della cupola oggi si conoscono molti dati che provengono da diversi sistemi di monitoraggio. Questo consente al settore tecnico dell'Opera di Santa Maria del Fiore di analizzare congiuntamente e quindi di ottenere informazioni esaustive sugli eventi accaduti e di comprendere più approfonditamente la natura e lo stato comportamentale dei plessi fessurativi, informazioni indispensabili per la programmazione di tutte le attività di manutenzione e prevenzione.

Il progetto

Nell'ambito degli stanziamenti a favore della Fondazione ICSC "Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data and Quantum Computing, CN1", codice progetto CN00000013, CUP H93C22000450007 per lo Spoke 5 dal titolo "Environment & Natural Disasters" (spoke leader Università di Bari) finanziato nell'ambito dell'Avviso MUR n. 3138 del 16/12/2021 PNRR, Missione 4, Componente 2, Investimento 1.4 – finanziato dall'Unione Europea, il Prof. Bruno Bertaccini del Dip.to di Statistica, Informatica, Applicazioni DiSIA "G. Parenti" dell'Università degli Studi di Firenze, in partnership con Opera di Santa Maria del Fiore, ha proposto un progetto di ricerca dal titolo "Tutela dei beni storico-architettonici con riferimento alla Cupola del Brunelleschi" sul quale è stata aperta una open call (o bando a cascata). Si è aggiudicata il bando Nowtech Solutions srl in partnership con IP Ingegneria srl presentando un progetto realizzativo dal titolo "Gestione Smart dello Structural Health Monitoring del Heritage Italiano: il caso Brunelleschi".

Opera di Santa Maria del Fiore

<https://duomo.firenze.it/it/home>

Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le provincie di Firenze, Prato e Pistoia

<https://soprintendenzafirenze.cultura.gov.it/>

Dipartimento DiSIA "G. Parenti" dell'Università degli Studi di Firenze

www.disia.unifi.it

Nowtech Solutions srl e IP Ingegneria srl

<https://it.nowtechsolutions.it/>

Firenze, 23 luglio 2025

Responsabile Ufficio Stampa Opera di Santa Maria del Fiore

Ambra Nepi

email: a.nepi@duomo.firenze.it

Phone: 366 7762363 - 348 6543173