



# OLTRE IL VISIBILE

Le competenze di Eni  
al servizio della  
Fabbrica di San Pietro



BASILICA DI  
SAN PIETRO



# OLTRE IL VISIBILE



Il progetto /  
*The project*

I rilevamenti in situ e le misurazioni effettuate /  
*In situ surveys and measurements*

Elaborazione dati ed interpretazione /  
*Data processing and interpretation*

I modelli digitali dell'area della Basilica /  
*Digital models of the Basilica area*

Roma, la città eterna. È la sua storia millenaria che la rende immortale. Il suo patrimonio artistico, in dialogo con la città contemporanea, è al tempo stesso memoria che ci è stata affidata e lascito che è nostro compito trasmettere al futuro perché le prossime generazioni possano godere, come noi e come chi ci ha preceduto, della sua grande bellezza.

La Basilica di San Pietro è un luogo unico al mondo, punto d'incontro di fede, storia e arte. Visitare i suoi spazi e i suoi tesori artistici è un'immersione nell'esperienza profonda del sacro. Racchiude la storia dei Papi, degli artisti, dei fedeli, dei visitatori che hanno costruito e fatto crescere nel tempo l'edificio sacro e il suo patrimonio materiale e immateriale.

Aperta al mondo, la Basilica è anima pulsante e centro della storia del mondo cristiano. Nel corso del Giubileo della Speranza è stata presa la decisione di prendersi cura del presente e del futuro di questo spazio sacro.

Nasce così, la collaborazione tra Eni e la Fabbrica di San Pietro in Vaticano, con l'obiettivo di indagare nel profondo la Basilica e la sua Cupola per preservarne nel tempo la salute e la magnificenza.

La Fabbrica di San Pietro è il cuore di una comunità ecclesiale e laica che ricerca le tecnologie più innovative – come quelle di Eni – per consegnare al futuro le “pietre vive”, impastate di testimonianza e memoria.

In un lavoro minuzioso, condotto in modo congiunto con la Fabbrica, Eni ha messo a disposizione della Basilica di San Pietro le proprie tecnologie avanzate. Ha poi realizzato uno studio e un monitoraggio del complesso architettonico, affinché questo rimanga solido e continui a essere nel tempo patrimonio dell'umanità.

Così, in un lavoro di precisione e attenzione ai particolari, con la massima cura e rispetto verso un'opera di grande valore, non ci si è fermati a ciò che è visibile, ma si è andati “Oltre il visibile”: oltre quello che i pellegrini vedono e sentono entrando in Basilica. Si è scesi nei sotterranei per monitorarne la salute strutturale e valutare quali conseguenze abbia prodotto il passare del tempo. ■





Il progetto “Oltre il visibile” rappresenta una tappa significativa nel percorso di collaborazione tra Eni e la Fabbrica di San Pietro, volto alla salvaguardia di uno dei simboli più riconosciuti e condivisi della storia e della cultura mondiale: la Basilica di San Pietro

L’iniziativa – resa ancor più significativa dalla coincidenza con il Quarto Centenario della Dedicazione della Basilica Vaticana stessa – nasce da una visione condivisa che unisce competenza tecnica, innovazione e responsabilità verso il bene comune. Il punto di partenza del progetto risiede in un dialogo avviato più di venti anni fa, quando – in occasione del Grande Giubileo del 2000 – Eni collaborò al restauro della facciata della Basilica papale.

L’attività eseguita ha previsto l’installazione di un sistema di monitoraggio strutturale permanente, l’analisi geologica e idrogeologica del sottosuolo indagando ciò che non appare agli occhi, come le fondamenta e la geologia areale del sito, e ciò che invece appare visibile, come la parte architettonica e strutturale, al fine di accrescere la conoscenza sulla Basilica e garantirne la conservazione nel tempo. Per questo, EniProgetti, società di ingegneria del gruppo che da sempre affronta le complesse sfide del mondo dell’energia, ha condotto uno studio tecnico-scientifico che ha coinvolto un team multidisciplinare composto da geofisici, geologi, ingegneri, esperti di sicurezza sul lavoro e supervisori tecnico-scientifici e che ha richiesto più di 4500 ore di lavoro sul campo di esperti interni ed esterni a Eni.

“Oltre il visibile” racconta di un impegno concreto che mira a preservare nel tempo la Basilica, attraverso l’innovazione, le competenze e la passione dell’azienda e delle sue persone.

Per Eni, realizzare progetti di salvaguardia della Basilica rappresenta un motivo di grande soddisfazione perché vuol dire poter contribuire alla custodia e alla conservazione di un patrimonio universale, affinché le generazioni future possano continuare ad apprezzarne e ammirarne l’imponenza e l’altissimo valore artistico, espressione del talento di straordinari maestri che ne resero possibile la realizzazione. Un impegno in piena coerenza con la visione dell’azienda, che opera con concretezza e responsabilità a beneficio dei contesti sociali e territoriali in cui è presente. ■

Claudio Granata  
Direttore Stakeholder Relations & Services di Eni

Ogni volta che entro nella Basilica di San Pietro, emerge alla mia coscienza un senso di piccolezza e di stupore misto a familiarità. La maestosità e l’armonia, la proporzione e l’eleganza, la corposità e l’ineffabilità delle forme e delle decorazioni mi suscitano sentimenti e afflitti spirituali. Se posso sostare qualche momento in contemplazione, il mio animo si volge naturalmente al desiderio dell’invisibile e si apre alla ricerca del mistero.

L’esperienza dello spirito umano trova corrispondenza in quella sensoriale. Ciò che non si vede è spesso ciò che sostanzia. Fondazioni, materia, strutture, equilibri nascosti reggono e custodiscono la Basilica di San Pietro, le danno solidità e continuità che sfidano le leggi della storia e ne rendono possibile la vita quotidiana.

A questa dimensione essenziale dell’essere, guarda il progetto “Oltre il visibile”, sviluppato congiuntamente tra la Fabbrica di San Pietro insieme a Eni, al fine di preservare l’equilibrio e la stabilità della Basilica Vaticana senza che venga ad alterarsi la sua identità.

Questa collaborazione si inserisce in una storia già condivisa. Alla fine degli anni Novanta, Eni contribuì al restauro e alla pulizia della facciata della Basilica, restituendole l’originario splendore. Oggi, con strumenti diversi – e in coincidenza con il Quarto Centenario della Dedicazione della Basilica di San Pietro – si rinnova un impegno che unisce competenza tecnica e responsabilità verso un bene di valore universale.

Le tecnologie applicate alla Basilica rispondono a una logica di servizio, operano in modo discreto per garantire persistenza, sicurezza e conservazione a beneficio dei milioni di pellegrini che ogni anno visitano questo luogo sacro. L’attenzione rivolta a ciò che non appare allo sguardo – agli orditi portanti dell’edificio e alle trame stratigrafiche del terreno su cui poggia – esprime la responsabilità nell’oggi guardando anche al domani. La tecnologia utilizzata con rispetto e misura diventa strumento di conoscenza, per consentire la prevenzione e la custodia di un patrimonio che non appartiene solo a qualche generazione. “Oltre il visibile” si configura così come un servizio silenzioso alla memoria e al futuro della Basilica.

Il complesso monumentale è costruito sulla tomba dell’Apostolo Pietro, la “pietra” sulla quale Gesù Cristo edifica la sua Chiesa. Prendersi cura anche di ciò che non appare allo sguardo significa partecipare a questa opera. Così, anche grazie a Eni, la Fabbrica di San Pietro può continuare a svolgere la sua missione, dando sempre maggiore profondità al compito di custodire e valorizzare la Basilica Vaticana, cuore pulsante della cristianità. ■

S.E.R. il Card. Mauro Gambetti

Rome is the Eternal City. Its millenary history makes it immortal. Its artistic heritage, in constant dialogue with the modern city, is both a memory entrusted to us and a legacy we must pass on, ensuring that future generations can experience its immense beauty, just as we and our predecessors have.

St. Peter's Basilica is a place beyond compare, where faith, history, and art converge. To walk through its spaces and among its artistic treasures is to be immersed in the sacred. The Basilica encapsulates the history of Popes, artists, and the faithful – all those who, over centuries, have shaped this sacred building and nurtured its material and intangible heritage.

Open to the world, the Basilica remains the beating heart of Christendom. With the Jubilee of Hope, the decision was made to care for the present and the future of this sacred space.

This gave rise to the collaboration between Eni and the Fabbrica di San Pietro in Vaticano, aimed at investigating the depths of the Basilica and its dome to safeguard their integrity and magnificence over time.

The Fabbrica di San Pietro stands at the core of a community of clergy and laity that seeks out the most innovative technologies – such as Eni's – to hand down these “living stones”, imbued with witness and memory, to the future.

Through a meticulous joint effort with the Fabbrica, Eni has placed its advanced technologies at the service of St Peter's Basilica. This involved a detailed study and monitoring of the architectural complex, ensuring it remains structurally sound and continues to stand as heritage for all humanity.

Driven by precision and reverence for a monument of such immense value, this project goes “Beyond the visible”. It moves past what pilgrims see and feel upon entering the Basilica, descending into the subterranean levels to monitor structural integrity and assess the enduring impact of time. ■



The “Beyond the visible” project marks a significant milestone in the collaboration between Eni and the Fabbrica di San Pietro, dedicated to the safeguarding of one of the world’s most universally recognised and shared symbols of history and culture: St. Peter’s Basilica.

The initiative – made even more significant by its coincidence with the Fourth Centenary of the Dedication of the Vatican Basilica – stems from a shared vision that unites technical expertise, innovation, and responsibility towards the common good. The project is rooted in a dialogue initiated over twenty years ago when, on the occasion of the Great Jubilee of 2000, Eni collaborated on the restoration of the Basilica’s façade.

The work involved the installation of a permanent structural monitoring system, alongside geological and hydrogeological subsoil analysis. This process investigated both what is hidden from the eye – such as the foundations and the site’s areal geology – and what remains visible, i.e. the architectural and structural elements, in order to deepen our knowledge of the Basilica and ensure its long-term conservation. To this end, EniProgetti, the Group’s engineering company, with its extensive track record in managing the complex challenges of the energy industry, conducted a technical survey of the Basilica. This involved a multidisciplinary team of geophysicists, geologists, engineers, occupational health and safety experts, and technical supervisors, requiring more than 4,500 hours of fieldwork by both internal and external Eni experts.

“Beyond the visible” shows a tangible commitment to preserving the Basilica over time through the innovation, expertise, and passion of the company and its people.

For Eni, undertaking projects to safeguard the Basilica is a source of great satisfaction; it means contributing to the stewardship and conservation of universal heritage, so that future generations can continue to appreciate and admire its grandeur and immense artistic value – an expression of the talent of the extraordinary masters who made its creation possible. This commitment is fully consistent with the vision of the company, which operates with practical purpose and responsibility for the benefit of the areas where it is present. ■

Claudio Granata  
Director of Stakeholder Relations & Services at Eni

Every time I enter St. Peter’s Basilica, I am struck by a sense of humility and awe, mixed with a feeling of familiarity. The majesty and harmony, the proportion and elegance, the sheer size and ethereal character of the shapes and decorations evoke within me deep emotions and spiritual yearnings. If I can pause for a few moments in contemplation, my soul naturally turns towards a desire for the unseen and opens itself to the quest for mystery.

The experience of the human spirit finds its counterpart in the senses. What remains unseen is often what provides true substance. Foundations, materials, structures, and hidden balances support and protect St. Peter’s Basilica, granting it a solidity and continuity that defy history and enable its daily life.

It is towards this essential dimension of being that the “Beyond the visible” project is directed. Developed jointly by the Fabbrica di San Pietro and Eni, its purpose is to preserve the balance and stability of the Vatican Basilica without altering its identity.

This collaboration is part of a shared history. In the late 1990s, Eni contributed to the restoration and cleaning of the Basilica’s façade, restoring it to its original splendour. Today, through different means – and coinciding with the Fourth Centenary of the Dedication of St. Peter’s Basilica – this commitment is renewed, uniting technical expertise with a responsibility towards heritage of universal value.

The technologies applied to the Basilica are designed to support its mission, operating discreetly to ensure endurance, safety, and conservation for the benefit of the millions of pilgrims who visit this sacred place each year.

The focus on what is hidden from view – the building’s structural framework and the stratification of the ground on which it rests – expresses a commitment to the present that looks towards the future. Technology, applied with restraint and precision, becomes a tool for understanding; it enables preventive care and the safeguarding of heritage that transcends generations. In this way, “Beyond the visible” serves as a silent contribution to both the memory and the future of the Basilica.

The monumental complex is built upon the tomb of the Apostle Peter, the “rock” (*pietra*) upon which Jesus Christ built His Church. Caring for that which is hidden from view means participating in this very work. Thus, thanks also to Eni, the Fabbrica di San Pietro can continue to fulfil its mission, bringing ever greater depth to the task of safeguarding and enhancing the Vatican Basilica, the beating heart of Christendom. ■

H.E.M.R. Cardinal Mauro Gambetti





## II PROGETTO

### THE PROJECT

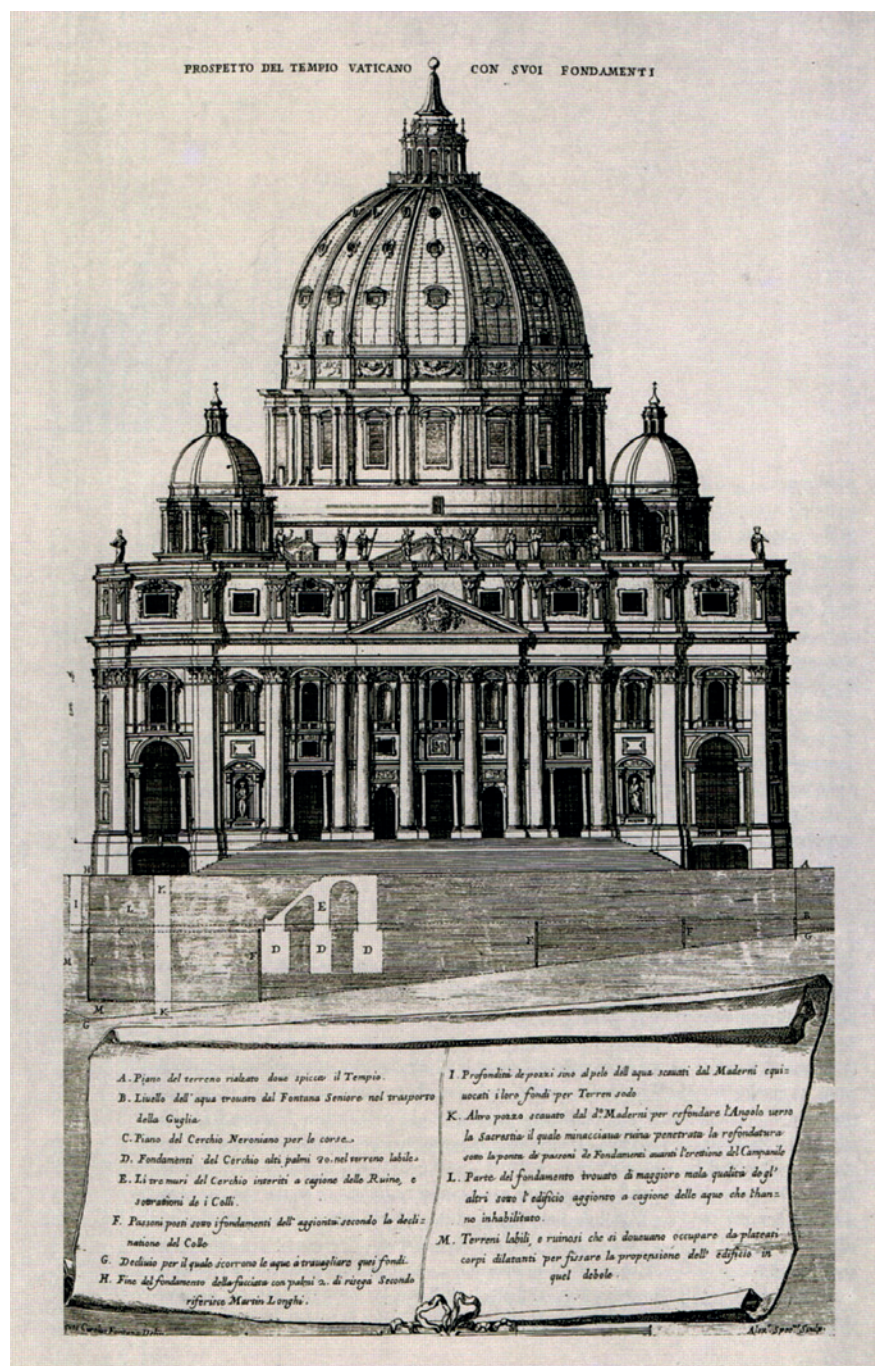
Nel 2023, in collaborazione con la Fabbrica di San Pietro, Eni ha avviato uno studio tecnico-scientifico sulla Basilica di San Pietro, con un duplice obiettivo: da un lato, approfondire la conoscenza delle fondazioni e dei terreni su cui poggia il monumento; dall'altro, valutare la fattibilità di un sistema di monitoraggio strutturale, integrato e permanente.

Lo studio ha unito fonti dell'Archivio Storico della Fabbrica di San Pietro che vanno dal XVI, XVII e XVIII secolo, le informazioni delle indagini condotte da Eni tra il 1997 e il 1999 in occasione del restauro della facciata, e alcune prove geotecniche eseguite negli anni successivi al 2000. Da questa analisi è emerso che le fondazioni della Basilica, in particolare nella zona meridionale, non sempre trovano appoggio su terreni compatti, ma spesso si immorsano su strati di argille limose e depositi ghiaiosi di origine alluvionale ed antropica, con presenza di falda attiva intorno a 11,5 metri rispetto al piano del portico di facciata. La ricostruzione storica ha evidenziato come già nel XVII secolo l'architetto Carlo Maderno, progettista della facciata, fosse consapevole delle difficoltà fondazionali. Per affrontarle, adottò soluzioni tecniche avanzate per

In 2023 jointly with Veneranda Fabbrica Eni launched a technical-scientific study on St. Peter's Basilica. The project aimed to deepen the knowledge of the foundations and their relationships with the subsoil supporting the monument and to assess the feasibility of an integrated and permanent structural monitoring system.

The study combined historical archive sources from the 16th to 18th centuries with data from Eni's investigations during the 1997–1999 façade restoration and subsequent geotechnical tests. Findings revealed that the Basilica's foundations, especially in the southern area, often lay on clay and gravel layers rather than compact litotypes, with an active water table about 11.5 meters below the façade level. Historical records show that architect Carlo Maderno was aware of these challenges and adopted advanced solutions for his time, including piling, drainage, and a “wells and barrels” foundation system for the southern tower erection.

The dome, an icon of Renaissance architecture, has been monitored during the centuries due its astonishing dimensions and the related loads on



Carlo Fontana.  
Facciata di San Pietro  
del Maderno  
(Carlo Fontana,  
Templum Vaticanum,  
Roma 1694).  
Cortesia Archivio  
Vaticano.

Carlo Fontana.  
Façade of St. Peter's  
by Maderno  
(Carlo Fontana,  
Templum Vaticanum,  
Roma 1694).  
Courtesy of the  
Vatican Archives.



l'epoca, tra cui interventi di palificazione, drenaggio e l'utilizzo di un sistema di fondazioni detto a “pozzi e barulle” per il consolidamento del terreno e la distribuzione dei carichi, in particolare nella zona del campanile sud e della cantonata di facciata.

Anche la Cupola di San Pietro, simbolo assoluto dell'architettura rinascimentale, è stata oggetto di attenzione costante nei secoli, date le dimensioni e i relativi carichi sulle fondazioni. Già nel XVIII secolo, Papa Benedetto XIV commissionò due studi fondamentali a Luigi Vanvitelli e Giovanni Poleni, figure di spicco dell'ingegneria e dell'architettura del tempo. Le loro analisi, condotte con strumenti e metodi pionieristici per l'epoca, evidenziarono la presenza di un quadro fessurativo esteso che interessava la cupola dalla lanterna fino al pilone di Santa Veronica, attraversando il tamburo.

Queste osservazioni non solo confermarono la complessità strutturale della cupola michelangiolesca, ma aprirono la strada a riflessioni e interventi che avrebbero influenzato la storia della conservazione monumentale. Il tema delle fessurazioni, e delle relazioni fra fondazioni e terreni su cui insistono, è rimasto centrale fino ai giorni nostri, e le moderne tecnologie di monitoraggio e modellazione geofisica, geologico-digitale consentono oggi di analizzare con precisione fenomeni che Vanvitelli e Poleni avevano intuito oltre due secoli fa.

Il progetto di sponsorizzazione tecnica tra Eni e Fabbrica di San Pietro del 2025 si propone, sulla base di quanto messo in luce dagli studi storici, di comprendere in modo scientifico e sistematico il comportamento strutturale di alcune porzioni sensibili della Basilica (come la facciata, il tamburo della Cupola e il pilone di Santa Veronica con la Parasta di Papa Alessandro VIII) correlandole con la natura geologica del sottosuolo e con le condizioni ambientali.

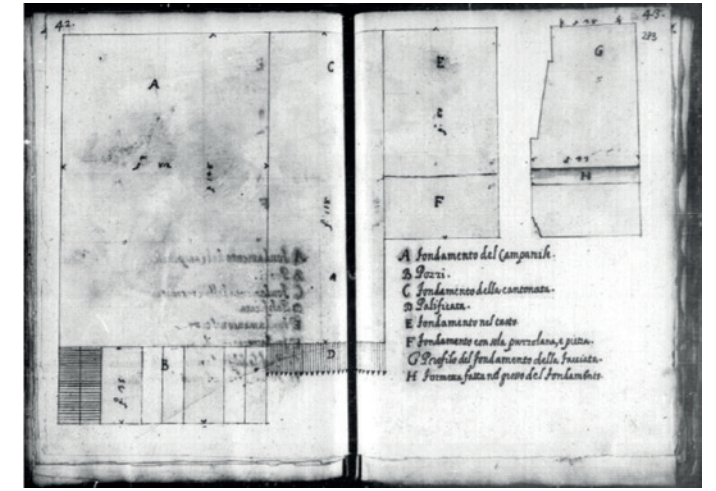
Il sito è stato indagato con un approccio di tipo areale, quindi non più concentrato su piccole porzioni del monumento, come nel passato ma sull'intero sedime della Basilica e sulle pertinenze esterne significative per lo studio. Le

the foundations. In the 18th century, Pope Benedict XIV commissioned Luigi Vanvitelli and Giovanni Poleni to study its structural condition. Their pioneering analyses revealed extensive cracking from the lantern to the drum. Insights, that, triggered centuries of conservation efforts. Today, modern monitoring, geophysical modelling and digital geology technologies allow precise analysis of phenomena that have been observed for more than two centuries.



Prospetto delle fondazioni della Fabbrica di San Pietro attribuito a Virgilio Spada, inedito.  
AFSP, Arm. 52, A, 87 bis, ff. 293-342.  
Cortesia Archivio Vaticano.

Foundations layout of the San Pietro complex attributed to Virgilio Spada, unpublished.  
AFSP, Arm. 52, A, 87 bis, ff. 293-342.  
Courtesy of the Vatican Archives.



Prospetto delle fondazioni della cantonata, del campanile e del tasto. Dal “*Discorso di Virgilio Spada Sopra i disordini della facciata della Chiesa, e Portico di San Pietro che al presente si vedono*”.  
Con i disegni in fine del discorso (Roma, Biblioteca Nazionale, Fondi minori 3808, ff. 250-315), f. 273. Cortesia Archivio Vaticano.

Elevation of the foundations of the corner pier, the bell tower, and the pier. From “*Discorso di Virgilio Spada sopra i disordini della facciata della Chiesa e portico di San Pietro che al presente si vedono*” with drawings at the end of the discourse (Rome, National Library, Fondi Minori 3808, ff. 250-315), f. 273.  
Courtesy of the Vatican Archives.

indagini si sono concentrate sulle quattro componenti fondamentali che compongono il luogo e quindi il progetto: la parte epigea (corpo monumentale fuori terra e aree esterne), la parte ipogea (grotte e necropoli), la componente geologica (corpi geologici e falde), e quella strutturale (fondazioni e porzioni di struttura).

Questo approccio integrato ha rappresentato uno dei pilastri metodologici più innovativi del progetto, ed una prima mondiale nel suo genere, superando la tradizionale frammentarietà delle indagini svolte storicamente per arrivare oggi ad offrire una visione tridimensionale e globale dell'intero complesso monumentale.

I vantaggi di questa metodologia sono molteplici. In primo luogo, consente di correlare fenomeni strutturali – come rotazioni, spostamenti e fessurazioni – con la natura dei terreni e/o con il comportamento delle strutture adiacenti. Inoltre, permette l'integrazione dei rilievi e del monitoraggio in modelli digitali unificati e interrogabili, creando un sistema informativo coerente e facilmente consultabile. Infine, fornisce un supporto concreto alle decisioni tecniche e scientifiche, basato su una conoscenza condivisa e validata, che diventa strumento operativo per la conservazione e la gestione del sito.

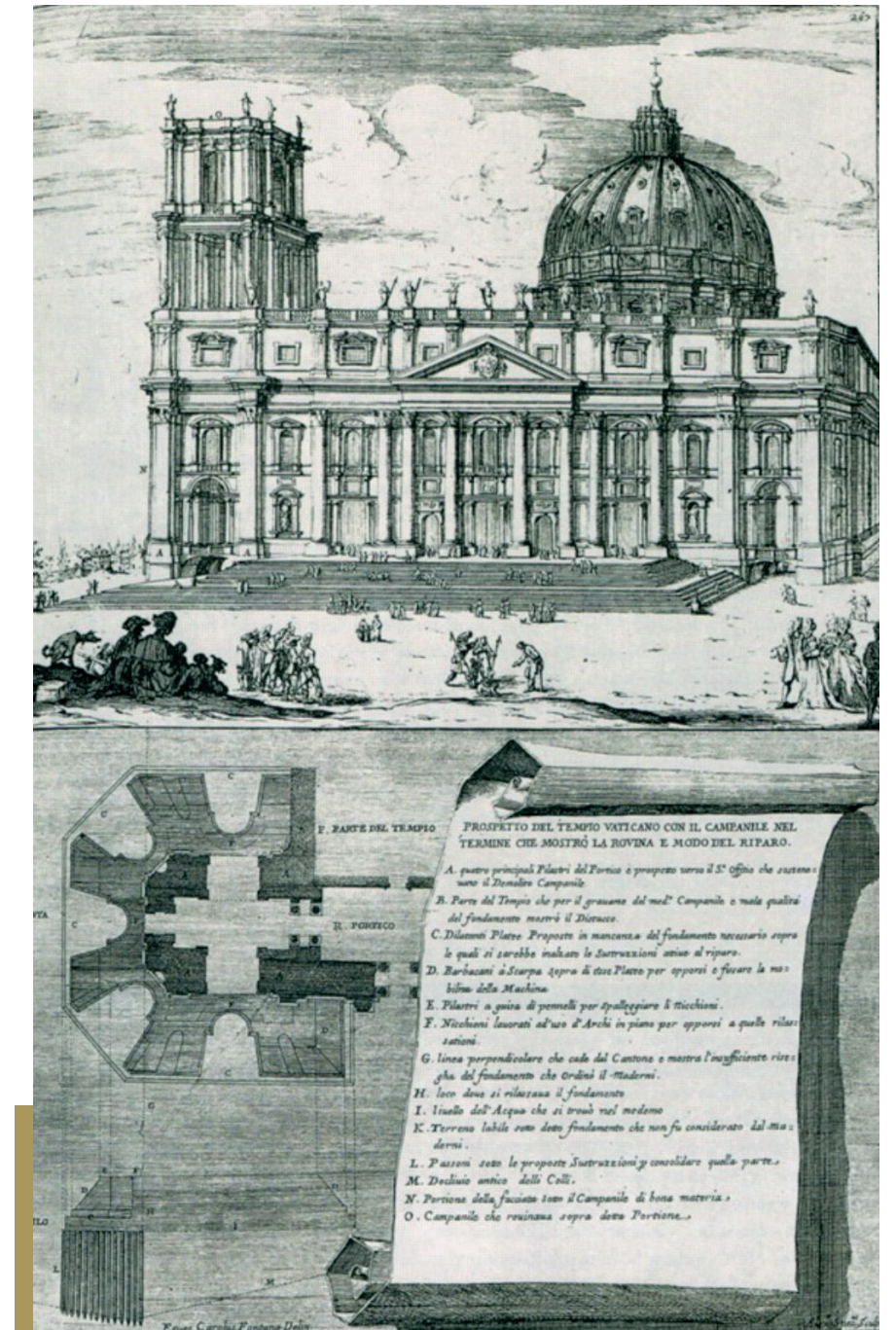
The 2025 Eni sponsorship project builds on this legacy, aiming to scientifically understand with an areal approach the structural behavior of sensitive areas—such as the façade, the dome's drum, and the Pier of St. Veronica—correlating them with the geological nature of the subsoil and the seasonal behavior of the monument. The investigation adopted an integrated approach, combining four components: the above-ground structure, underground spaces, geological formations, and foundations.

This methodology provides a unified 3D vision of the monument, enabling correlation of structural phenomena with subsoil conditions and integration of monitoring data into digital models.

Custom 3D models include:

- Structural geometry (metric model)
- Geological and hydrogeological data
- Structural monitoring system

These tools offer the Fabbrica's technicians and related entities real-time access to comprehensive architectural and 3D geological features, supporting informed decisions for conservation and management.



Dettaglio delle  
fondazioni del  
campanile sud e della  
cantonata di facciata.

Detail of the  
foundations of the  
southern bell tower  
and the corner of the  
façade.



I modelli digitali 3D creati ad hoc per il progetto includono:

- Le geometrie strutturali nel cosiddetto modello metrico;
- La geologia qualitativa dei corpi d'interesse come le marne Vaticane, le alluvioni del Tevere e i riporti antropici, non tralasciando la falda acquifera (modello idrogeologico);
- Il sistema di monitoraggio strutturale.

Questi modelli permettono ai tecnici della Fabbrica e agli enti incaricati di accedere a una mappatura completa dell'architettura e della geologia dei terreni sottostanti la Basilica, con possibilità di interrogazione in tempo reale dei dati di monitoraggio 24 ore su 24, 7 giorni su 7.

### Studi di Carlo Fontana

La rapida costruzione della cupola (22 mesi) ed il conseguente assestamento di una “*così gran mole*” fu causa di una lesione parallela al costolone in corrispondenza del pilone di Santa Veronica. Tale notizia e l'ipotesi sulle cause del dissesto è riportata da Carlo Fontana molto dettagliatamente; nella sua opera (1694) precisa la larghezza della lesione (*un dito*) e la sua posizione (*inizio metà altezza dalla finestra del tamburo e fine alla metà altezza dello sviluppo del costolone*).

### Studies by Carlo Fontana

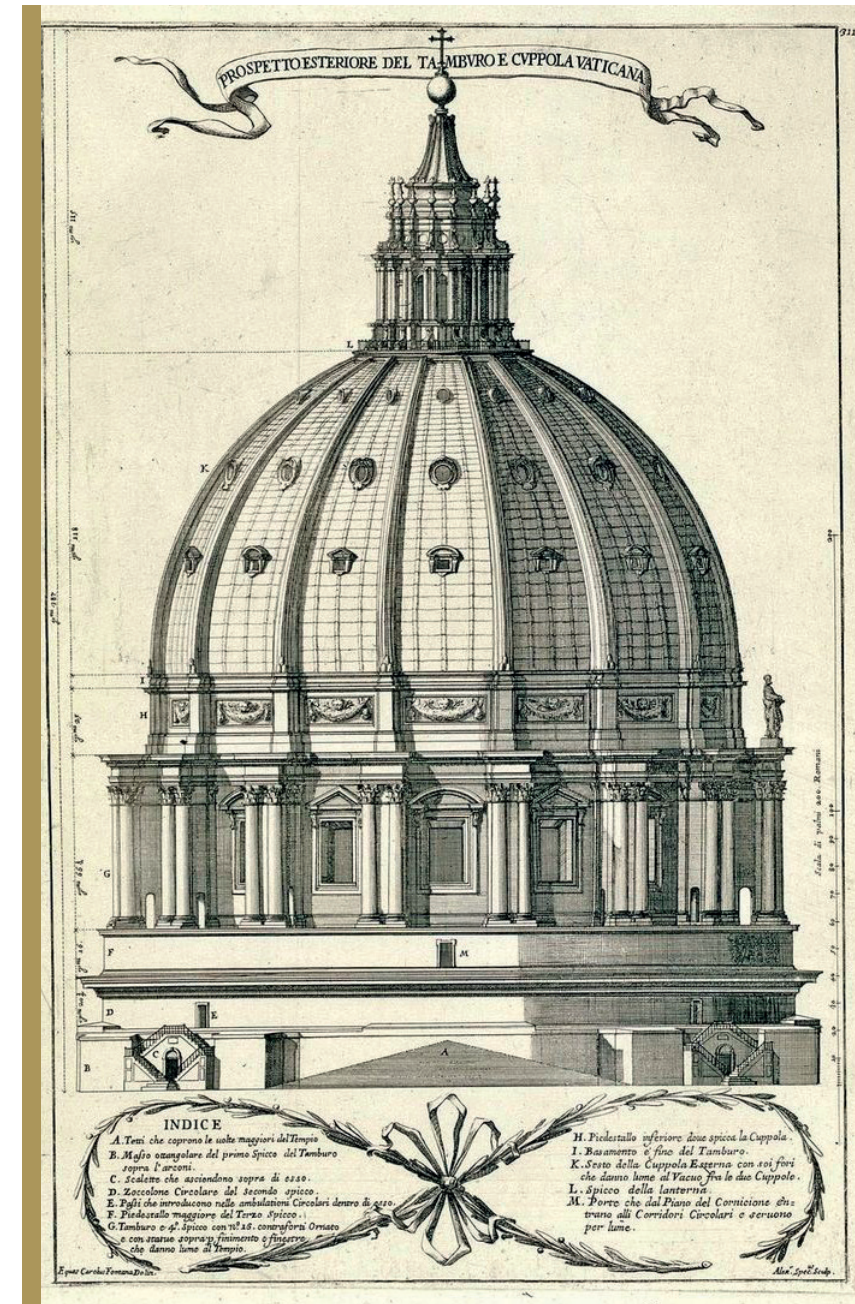
The rapid construction off the dome, completed in just twenty-two months, and the consequent setting of such a “great mass” were identified as the cause of a crack running parallel to the rib at the level of the Pier of St. Veronica. This observation, together with the hypothesis regarding the causes of the structural distress, is reported in great detail by Carlo Fontana in his seminal work of 1694. Fontana specifies both the width of the crack – approximately the breadth of a finger – and its precise location, beginning halfway up from the drum window and extending to the midpoint of the rib's height.

“Templum Vaticanum  
et ipsius origo”.  
Carlo Fontana 1694.

Papa Benedetto XIV, nel 1742 commissionò a Luigi Vanvitelli e Giovanni Poleni studi approfonditi sulla statica della cupola. G. Poleni nel 1748 mise a punto un trattato «memorie storiche della gran cupola del tempio vaticano», presentato al Papa da L. Vanvitelli, ove suggeriva rinforzi e restauri la cui messa in opera contribuì al consolidamento della cupola.

Pope Benedict XIV, in 1742, commissioned Luigi Vanvitelli and Giovanni Poleni to conduct in depth studies on the structural stability of the dome.

In 1748, Giovanni Poleni completed a treatise entitled «memorie storiche della gran cupola del tempio vaticano», presented to the Pope by Luigi Vanvitelli, in which he proposed reinforcements and restorations whose implementation contributed significantly to the consolidation of the dome.







## I RILEVAMENTI IN SITU E LE MISURAZIONI EFFETTUATE IN SITU SURVEYS AND MEASUREMENTS

Le attività di rilievo e misurazione condotte presso la Basilica di San Pietro, hanno avuto l'obiettivo di acquisire dati strutturali, geofisici, geologici e topografici attraverso tecnologie avanzate tese alla preservazione del monumento. L'intervento ha richiesto una pianificazione meticolosa e un coordinamento continuo tra Eni e Fabbrica di San Pietro.

La campagna operativa si è svolta in meno di due mesi, con turni diurni e notturni, coinvolgendo squadre Eni e di imprese specializzate per un totale di circa 4.500 ore di lavoro svolto in sito, in costante sinergia con la Fabbrica di San Pietro e nel rispetto della sicurezza sul lavoro.

L'intervento ha interessato l'intero complesso monumentale, dalle superfici epigee (facciata, colonnati, corpo basilicale, coperture, sagrato) alle aree ipogee (Grotte Vaticane, Necropoli), per una superficie complessiva di circa 80.000 m<sup>2</sup>.

Tutte le operazioni, nel rispetto delle autorizzazioni accordate dalle Autorità vaticane, sono state precedute da sopralluoghi e simulazioni di fattibilità, per garantire la compatibilità con le liturgie, i flussi di pellegrini, le chiusure viarie e l'accesso ad aree anguste o in quota. La sicurezza sul lavoro è stata gestita congiuntamente dalla Fabbrica di San Pietro e

da Eni, con analisi di rischio e supervisione continua, raggiungendo l'obiettivo di zero infortuni. Analogamente sono state gestite tutte le tematiche relative all'ordine pubblico e alla pubblica sicurezza nel territorio dello Stato del Vaticano.

Sono state preferite tecnologie a bassa invasività quali le indagini geofisiche,

The survey and measurement activities at St. Peter's Basilica aimed to acquire topographic, structural, geophysical, geological and hydrogeological data by means of advanced, non-invasive technologies. The activities required meticulous planning and continuous coordination between Eni and the Veneranda Fabbrica, ensuring full respect for the sacredness of the site and the constraints imposed by the 2025 Jubilee Year.

The campaign was completed in less than two months, with day and night shifts totaling about 4,500 hours of work on-site. It covered the



Installazione della sensoristica di monitoraggio strutturale sul cornicione sovrastante il Pilone di Santa Veronica.

Installation of structural monitoring sensors on the cornice above the St. Veronica pier.





Installazione  
di un sensore  
inclinometrico  
sul pilone di  
Santa Veronica.

Installation of  
an inclinometer  
sensor on the  
St. Veronica pier.



il laser scanning e fotogrammetria da drone, rispetto a tecnologie più invasive (come ad esempio le perforazioni geognostiche).

Ciascuna tecnologia ha contribuito a costruire un modello tecnico tridimensionale coerente e armonizzato rispetto a tutte le componenti del sito oggetto d'indagine.

entire monumental complex—both above-ground areas (façade, colonnades, basilica body, roofs, forecourt) and underground spaces (Vatican Grottoes, necropolis) - over approximately 80,000 m<sup>2</sup>. All activities complied with Vatican authorizations and were preceded by feasibility checks to guarantee compatibility with liturgical functions and pilgrim flows. Safety was managed jointly by Eni and the Fabbrica, achieving zero accidents. Security was entirely guaranteed by the Vatican Security function. A complete digital twin was







Le acquisizioni georadar nel portico della Basilica.

Ground-penetrating radar (GPR) acquisitions in the Basilica's portico.

created using a network of GPS and total station benchmarks with millimetric precision. Laser scanning, drone photogrammetry, and mobile mapping generated a dense point cloud, forming the basis for all metric models.

For the first time, a full geophysical survey was carried out across the Basilica's internal and external areas. Ground-penetrating radar revealed cavities and buried structures; 2D seismic reflection provided deep stratigraphy; HVSR mapped soil resonance frequencies; and electrical resistivity tomography (ERT) outlined soil distribution and aquifer geometry. These data fed the final 3D geophysical and geological model.

To the scope of monitoring historically identified features of the monument three sensor networks were installed on key elements:

- CGPS sensors for high-precision displacement measurements;
- Inclinometers for tilt and static alignment;
- Accelerometers for vibration and modal frequency monitoring;

All data are integrated into the Basilica's digital twin and accessible in real time via a WebGIS platform, enabling remote analysis the planning of future activities.



La campagna topografica all'esterno della Basilica di San Pietro.

Topographic survey campaign outside St. Peter's Basilica.



Installazione della sensoristica di monitoraggio strutturale sulla copertura della facciata.

Installation of structural monitoring sensors on the façade roof.



## IL “GEMELLO DIGITALE” INTEGRALE DELLA BASILICA: *DIGITAL TWIN*

La realizzazione del modello digitale integrale della Basilica è stata possibile grazie alla posa di una rete di caposal-di topografici, definita tramite GPS e stazioni totali, con precisione millimetrica. Questa rete ha garantito la georeferenziazione di tutte le acquisizioni e dei sensori installati.

Il rilievo tridimensionale è stato condotto integrando tecnologie come il laser scanning, la fotogrammetria da drone e il mobile mapping. Il risultato ottenuto è stato una “nuvola di punti” rappresentativa di un modello numerico di coordinate spaziali X, Y e Z, che rappresenta fedelmente la geometria di tutta la Basilica e costituisce la base di ogni modello metrico digitale.

Acquisizioni Laser Scanning nella zona del monumento a Papa Alessandro VII e dei prospetti esterni della Basilica; Volo del drone per le acquisizioni fotogrammetriche.

Laser Scanning acquisitions around the monument to Pope Alexander VII and on the external façades of the Basilica; Drone flight for photogrammetric acquisitions.







Rilievo 3D  
all'interno ed  
esterno della  
Basilica con  
tecnologia  
Laser Scanning  
stazione totale  
GPS.

3D survey inside  
and outside  
the Basilica  
using Laser  
Scanning  
technology  
and GPS total  
station.



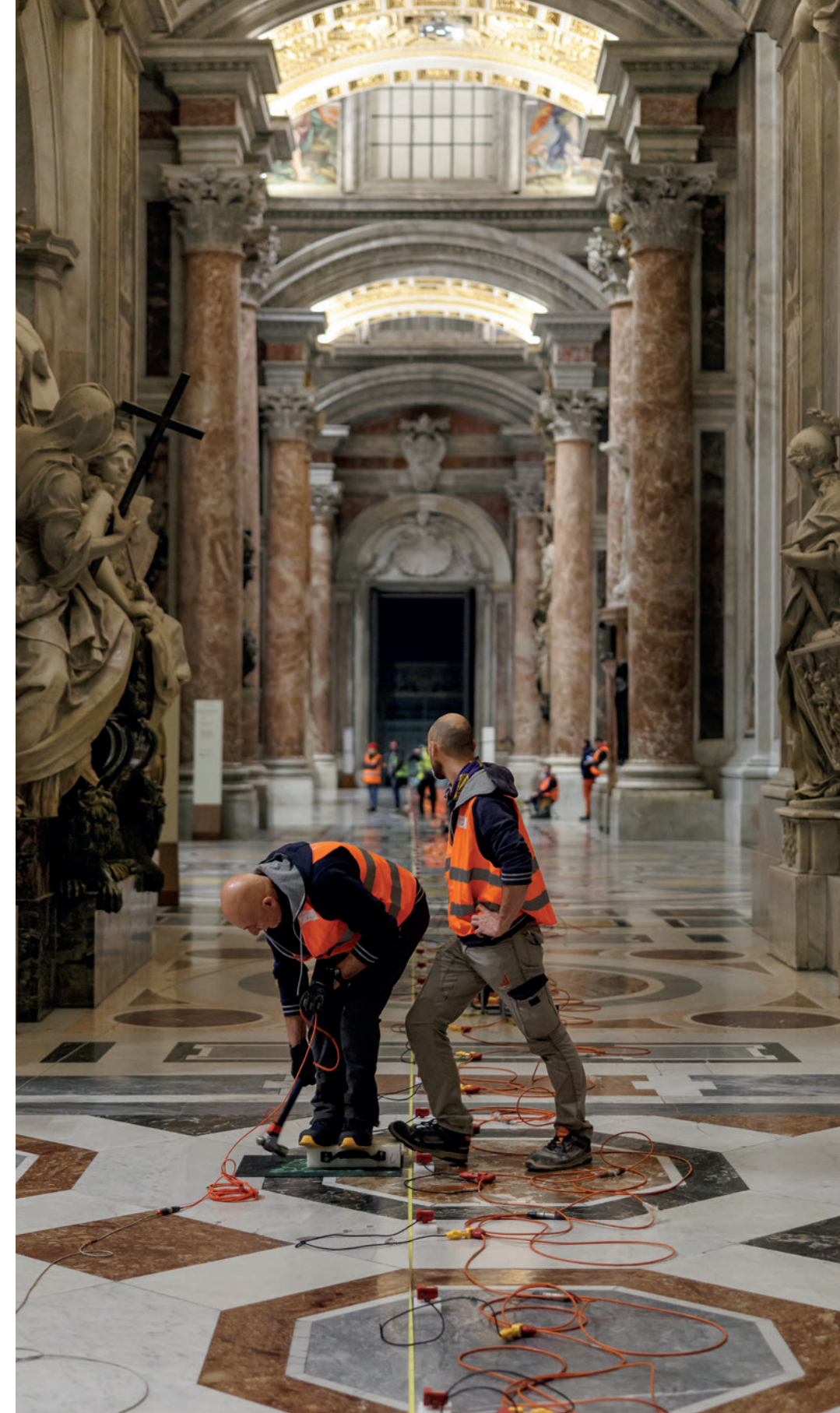
## RILIEVI GEOFISICI AREALI DEL COMPLESSO MONUMENTALE

Per la prima volta è stata eseguita un'indagine geofisica estensiva su tutta l'area della Basilica, interna ed esterna. Le tecnologie non invasive impiegate hanno garantito precisione e rispetto del contesto sacro, artistico e archeologico. Il georadar ha esplorato i primi metri di profondità, rivelando cavità e strutture sepolte. La sismica a riflessione 2D ha restituito un'immagine del sottosuolo di dettaglio fino a 100 m. di profondità, evidenziando le superfici di contatto tra fondazioni e formazioni geologiche presenti. Le indagini HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) hanno mappato le frequenze di risonanza del terreno, utili per una futura progettazione antisismica. Infine, la tomografia elettrica resistiva (ERT) 2D e 3D ha permesso di caratterizzare l'interfaccia fondazioni-sottosuolo e a ricostruire la geometria della falda acquifera e le sue interazioni con le fondazioni. Attraverso l'integrazione dei dati acquisiti si è pervenuti alla costruzione del modello geologico tridimensionale dell'intera Basilica di San Pietro.



Acquisizioni  
Geofisiche  
all'interno della  
Basilica sul piano  
di calpestio del  
portico e della  
navata centrale  
e su quello della  
Necropoli.

Geophysical  
surveys inside  
the Basilica on  
the walking  
surface of the  
portico and the  
central nave, as  
well as on that of  
the Necropolis.







Installazione della sensoristica di monitoraggio sul tamburo della Cupola (in alto) e nel secondo corridore di facciata (in basso).

Installation of monitoring sensors on the drum of the Dome (upper level) and in the second façade corridor (lower level).



## IL SISTEMA DI MONITORAGGIO STRUTTURALE

Si è provveduto a realizzare un nuovo sistema di monitoraggio composto da tre reti principali installate sulla facciata e campanili laterali, grotticelle, secondo corridore, il pilone di Santa Veronica e il tamburo della cupola Michelangiolesca:

- La rete CGPS (Continuous Global Positioning System) con sensori ad alta precisione per la misura degli spostamenti plano-altimetrici.
- La rete di inclinometri astrometrici e convenzionali con collegamento autonomo per la rilevazione delle inclinazioni azimutali e dell'assetto statico.
- La rete accelerometrica di ultima generazione, per il monitoraggio delle vibrazioni e delle frequenze modali.

Tutti i dati sono integrati nel gemello digitale a nuvola di punti della Basilica e sono visualizzabili in tempo reale tramite piattaforma WebGIS, con accesso remoto per analisi e manutenzione.

Prove di trasmissione dati del sistema di monitoraggio nella parte ipogea del pilone di Santa Veronica.

Data transmission tests of the monitoring system in the hypogean section of the St. Veronica pier.







Installazione  
del sistema di  
monitoraggio  
strutturale.  
In facciata, sul  
cornicione interno  
e sul tamburo  
della cupola  
Michelangiolesca.

Installation of the  
structural monitoring  
system. On the façade,  
on the inner cornice,  
and on the drum of  
Michelangelo's dome.







## ELABORAZIONE DATI ED INTERPRETAZIONI

### DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

Attraverso un approccio integrato e multidisciplinare, i dati geofisici, geologici, topografici e strutturali sono stati trasformati in una serie di modelli digitali tridimensionali completamente integrati e navigabili. Da queste sono derivate mappe interpretative e piattaforme di monitoraggio strutturale, fornendo una rappresentazione interattiva, coerente e tridimensionale della Basilica e del suo sottosuolo.

Le informazioni acquisite in campo sono state infatti processate e interpretate da una squadra di specialisti con competenze di geofisica, geologia, topografia e strutture, che utilizzando software dedicati hanno restituito i risultati posti ad obiettivo del progetto.

Through an integrated, multidisciplinary approach, all acquired information was transformed into navigable digital models, interpretative maps, and structural monitoring platforms, providing a coherent 3D representation of the Basilica and its subsoil.

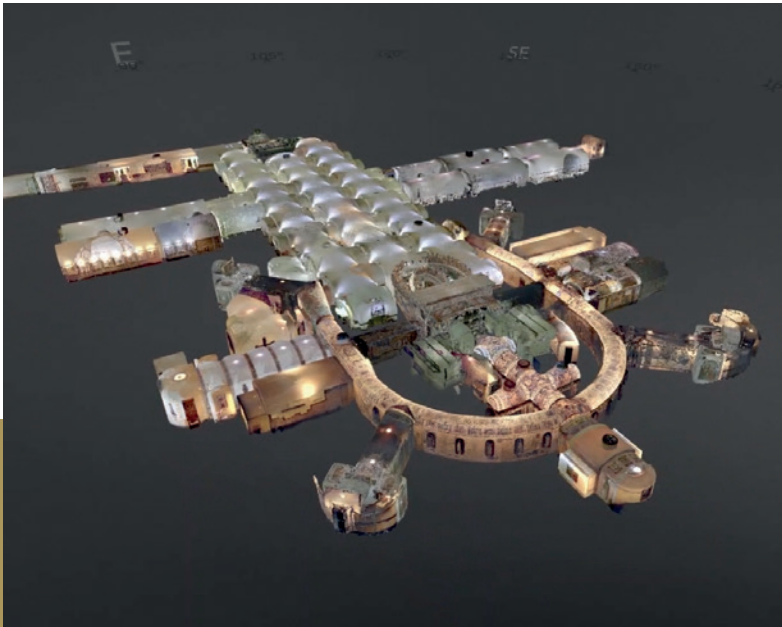
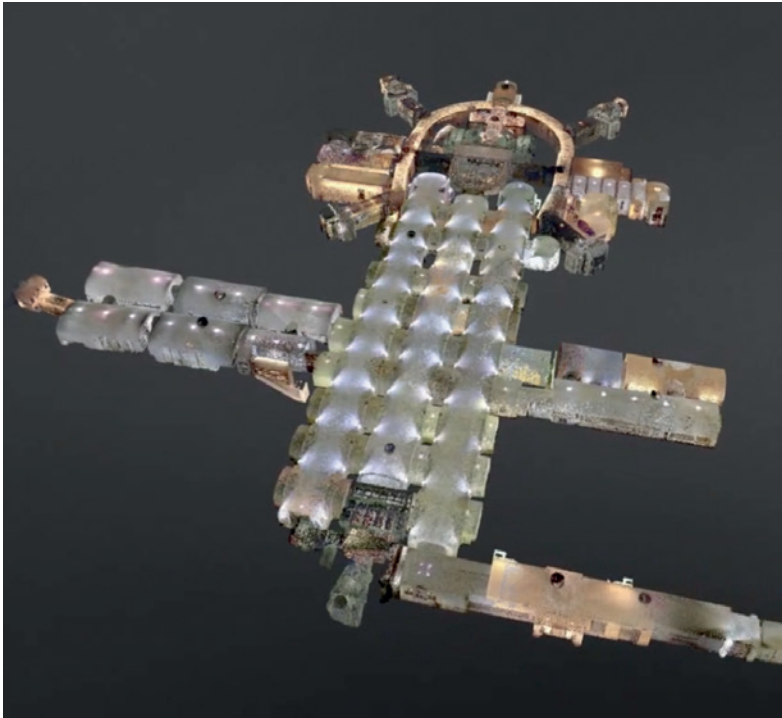
Specialized teams in geophysics, geology, topography, and structural engineering processed and interpreted the data using advanced software, delivering the project's key outputs.





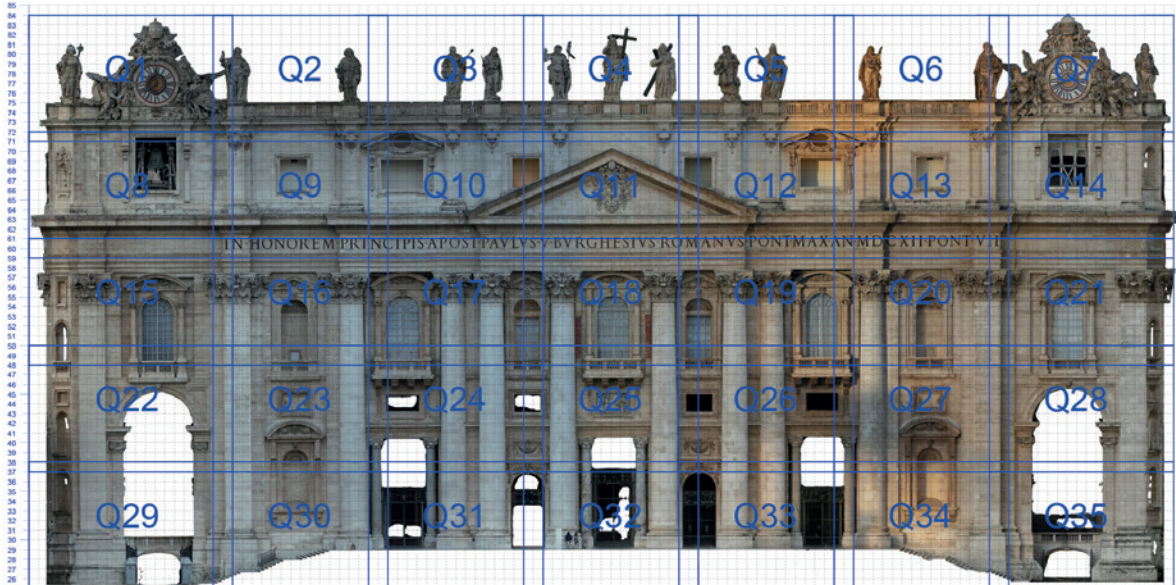
# MODELLO METRICO ARCHITETTONICO

Il rilievo tridimensionale ha così preso la forma di una nuvola di punti 3D navigabile e molto raffinata che riproduce con altissima fedeltà la geometria della Basilica: dalla facciata al corpo centrale, dalle coperture alla cupola, fino alle aree ipogee come le Grotte Vaticane e la Necropoli. Da questo modello sono stati derivati elaborati tecnici come mappe topografiche, sezioni trasversali e mappe fotogrammetriche ad alta definizione. Tutti i dati sono stati resi su piattaforma digitale, rendendo possibile la consultazione interattiva e il collegamento diretto con il sistema di monitoraggio.



Viste della nuvola di punti 3D delle Grotte Vaticane.

Views of the 3D point cloud of the Vatican Grottoes.

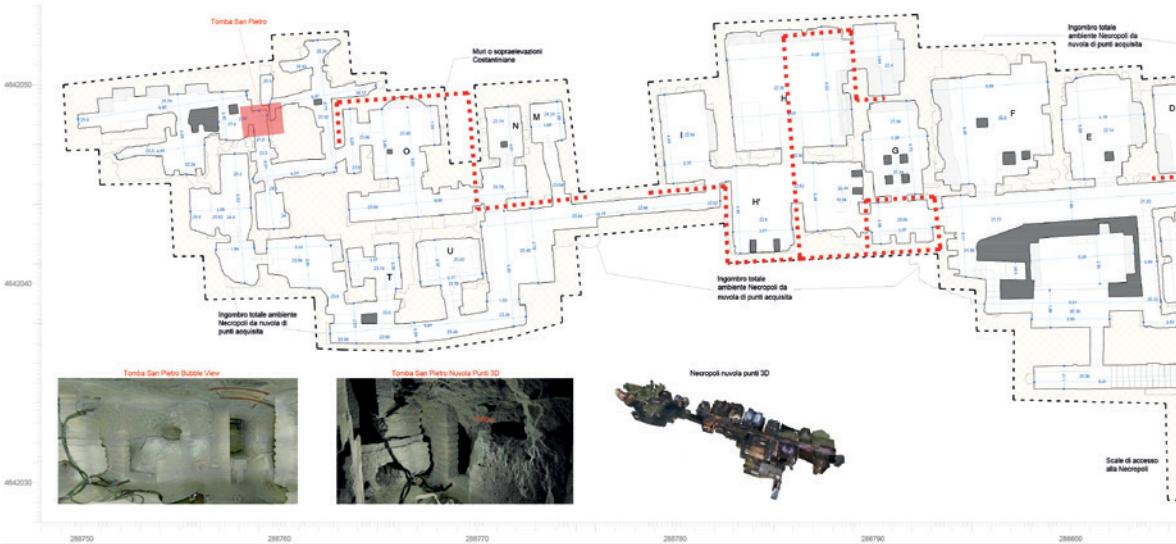


Composizione della fotogrammetria della facciata della Basilica.

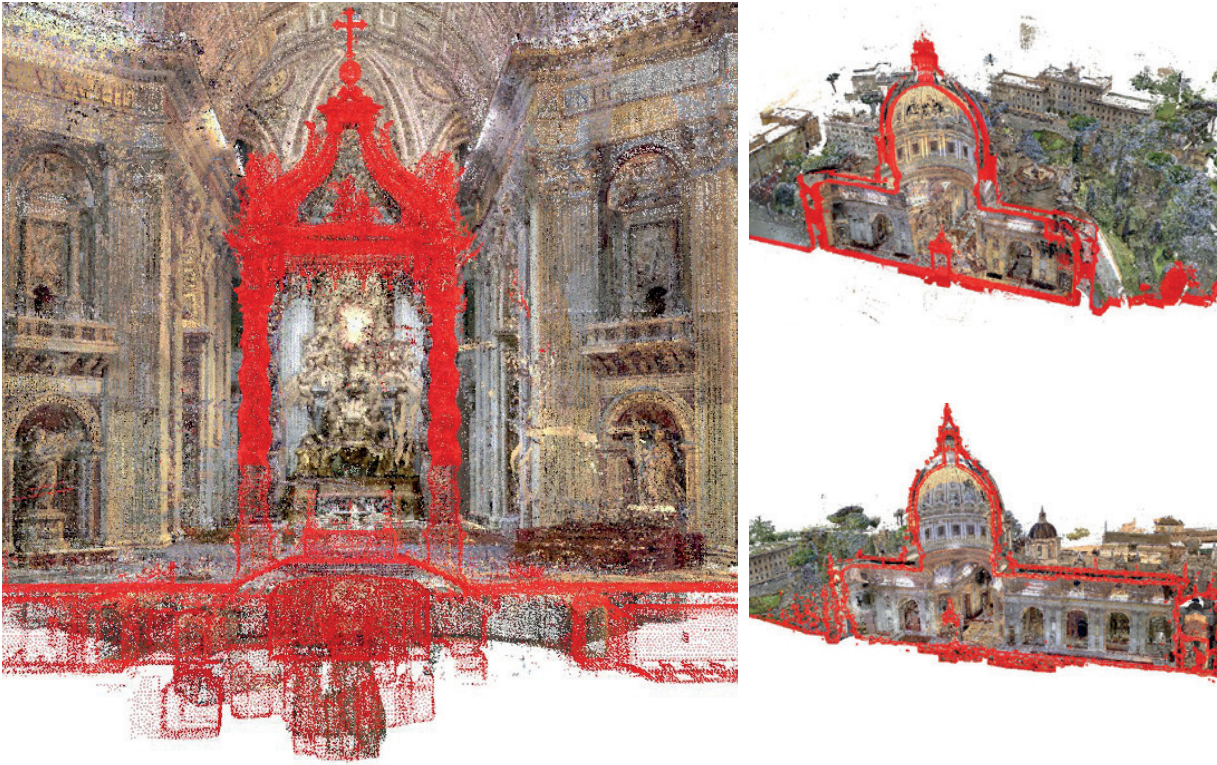
Composition of the photogrammetry of the Basilica's façade.

Planimetria quotata della Necropoli.

Dimensioned plan of the Necropolis.







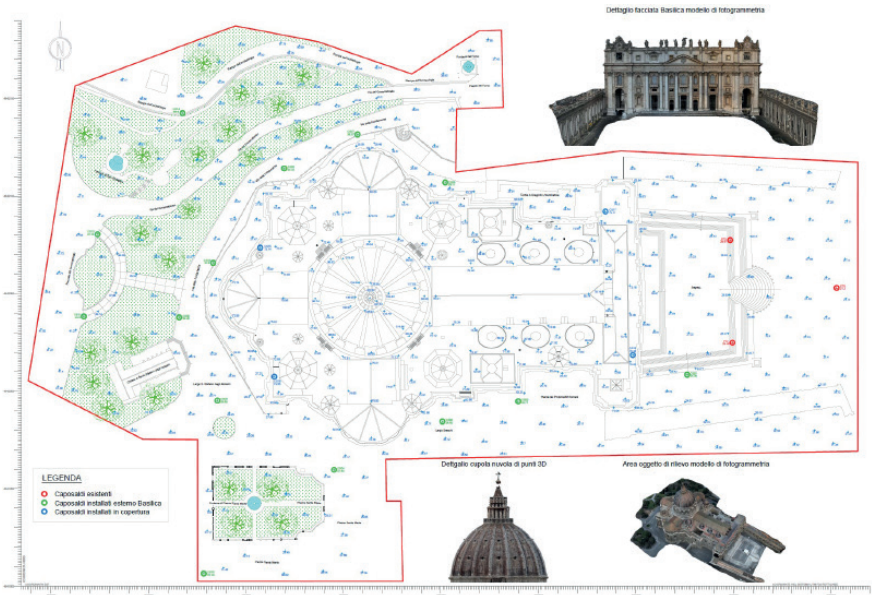
Ricostruzione digitale della Basilica di San Pietro: modello 3D ottenuto da rilievi laser scanning, rappresentato come nuvola di punti ad alta densità: vista dell'Altare Maggiore e sezioni longitudinali in nuvola di punti.

Digital reconstruction of St. Peter's Basilica: 3D model obtained through laser scanning surveys, represented as a high-density point cloud, featuring a view of the "Altare Maggiore" and longitudinal sections in point cloud format.

Architectural Metric ModelThe 3D survey produced a highly detailed point cloud faithfully reproducing the Basilica's geometry—from the façade to the central body, roofs, dome, and underground spaces such as the Vatican Grottoes and Necropolis. From this model, technical outputs such as topographic maps, cross-sections, and high-definition photogrammetric maps were derived. All data were integrated into a digital platform for interactive consultation and direct connection to the monitoring system.

In basso a sinistra: Nuvola di punti da varie angolature della zona dell'Altare Maggiore.  
In basso a destra: Planimetria quotata della Basilica di San Pietro, estratta dal modello digitale 3D.

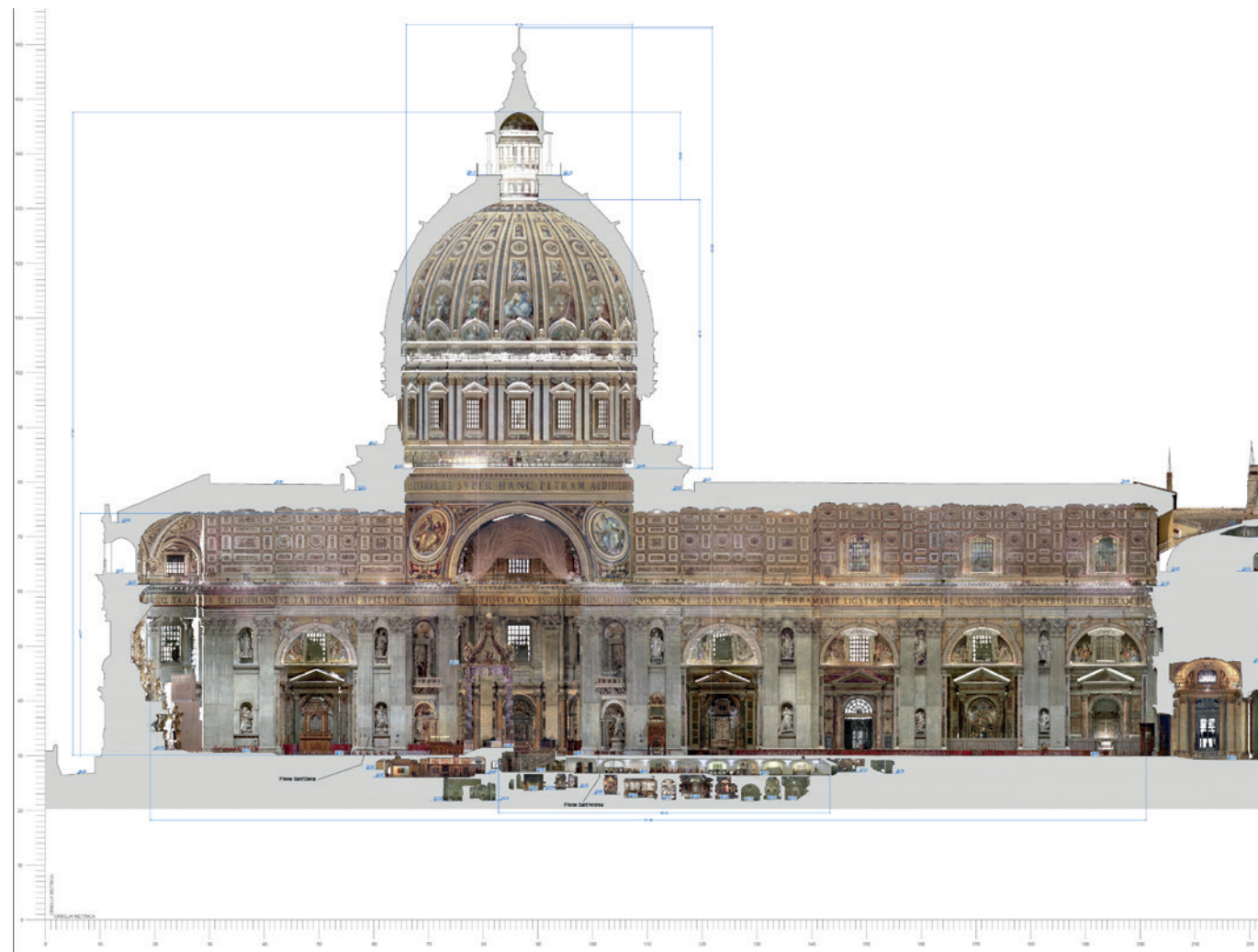
On the bottom left: Point cloud views from various angles of the "Altare Maggiore" area.  
On the bottom right: Quoted plan of St. Peter's Basilica, extracted from the 3D digital model.



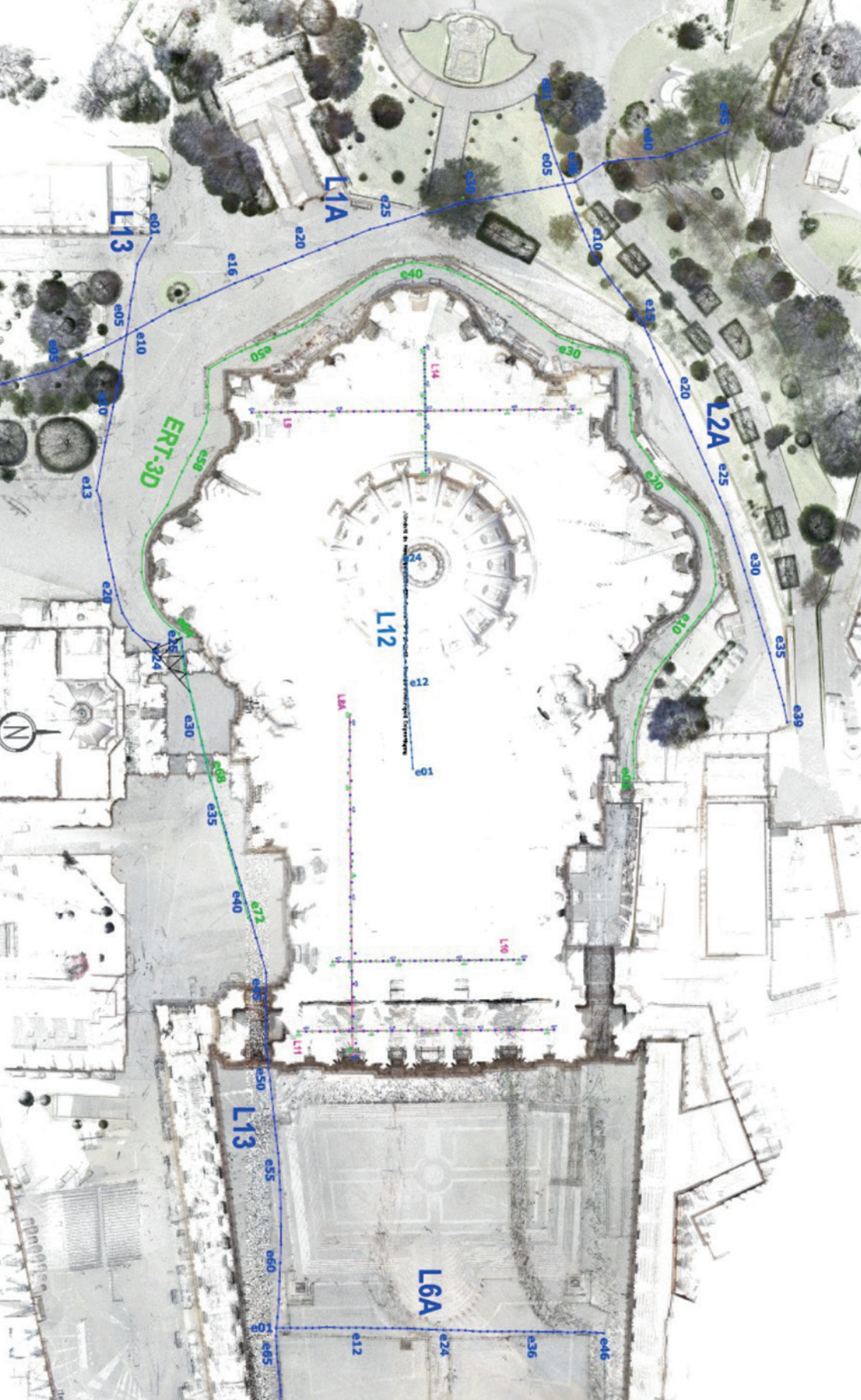


Sezioni longitudinali metriche vettorializzate della Basilica di San Pietro. Sono visibili i vari livelli dell'architettura della Basilica dalla Necropoli alle Grotte alla struttura epigea.

Lorigitudinal metric sections of St. Peter's Basilica. The various architectural levels of the Basilica are visible, from the Neropolis to the "Grotte Vaticane" up to the above-ground structure.







Sinistra:  
planimetria  
dei tracciati  
delle indagini  
geofisiche  
sull'area  
della Basilica  
(interni ed  
esterneseguite).

Left: plan of  
the geophysical  
survey paths  
carried out in  
the Basilica area  
(interior and  
exterior).

## MODELLO DEL SOTTOSUOLO

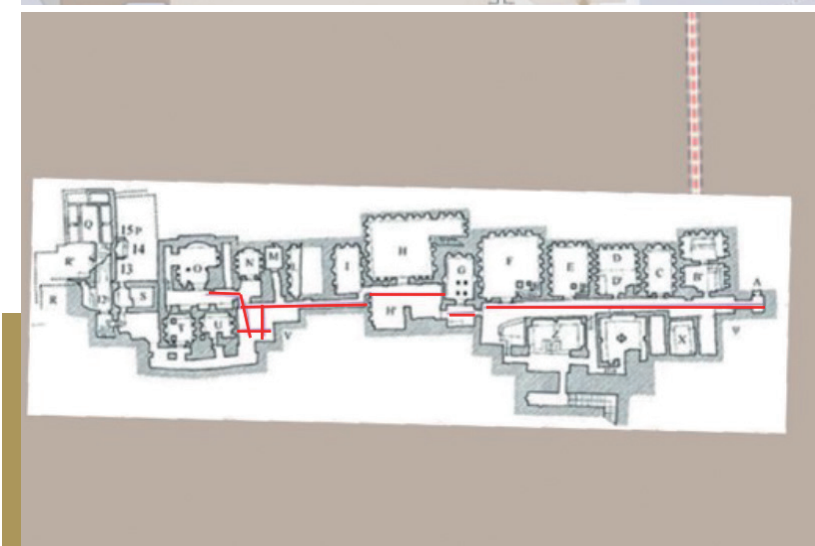
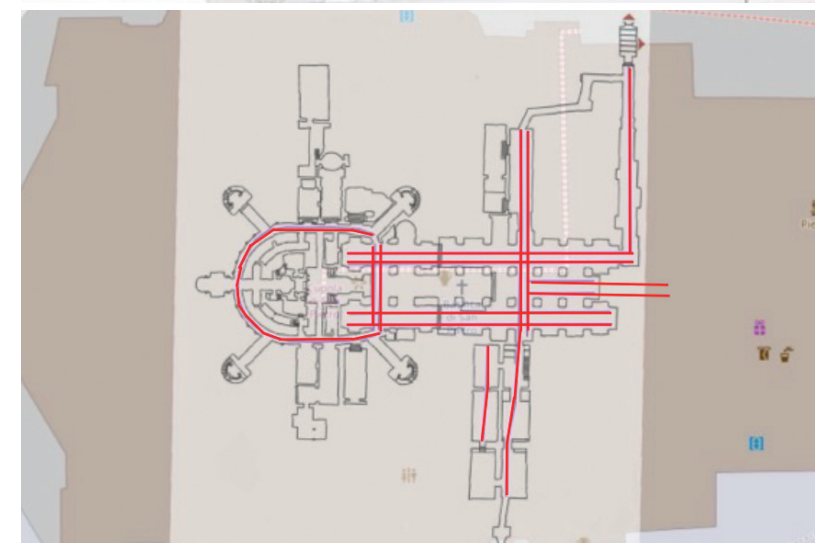
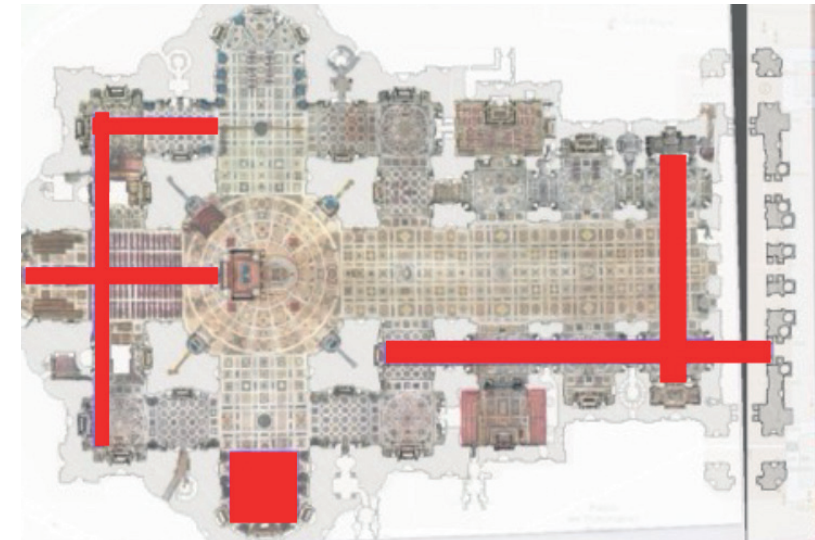
L'elaborazione dei dati geofisici ha permesso di costruire un modello geologico tridimensionale del sottosuolo e delle geometrie delle fondazioni della Basilica permettendo così di comprendere a fondo le relazioni sussistenti.

L'interpretazione delle indagini condotte con georadar (GPR), sismica a riflessione 2D, tomografia elettrica resistiva (ERT 2D e 3D) e sismica passiva (HVSr) hanno completato il quadro. Si è evidenziata la presenza di argille, limi, sabbie afferenti alle formazioni geologiche - in ordine stratigrafico - del «colluvium», delle alluvioni del Tevere e delle marne vaticane. A queste si aggiungono depositi di riporto di origine antropica come lecito attendersi in un sito archeologico pluristratificato, a cui si aggiungono le fondazioni della Basilica, cavità e strutture sepolte.

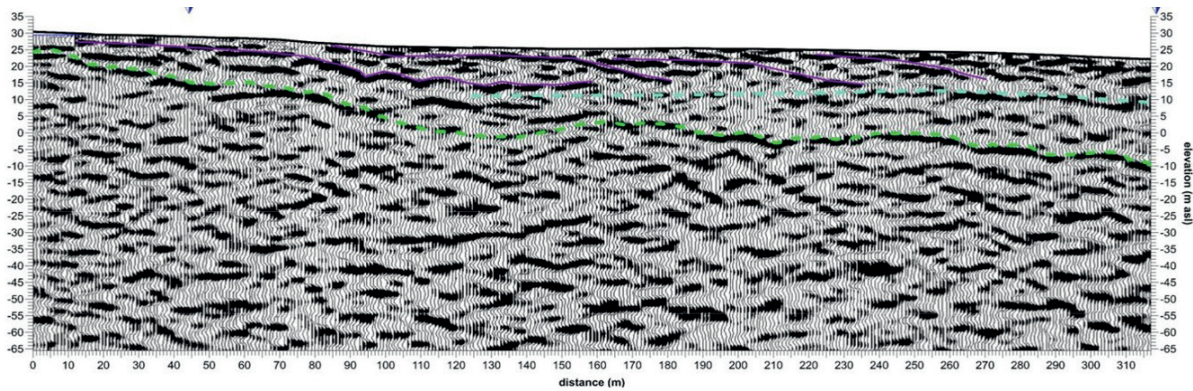
Il modello è stato completato con la ricostruzione della superficie di falda, elemento chiave per comprendere le interazioni tra le fondazioni e il regime idrogeologico locale.

Planimetria delle  
acquisizioni georadar  
eseguite all'interno  
della Basilica.

Plan of the ground-  
penetrating radar  
(GPR) acquisitions  
carried out inside the  
Basilica.





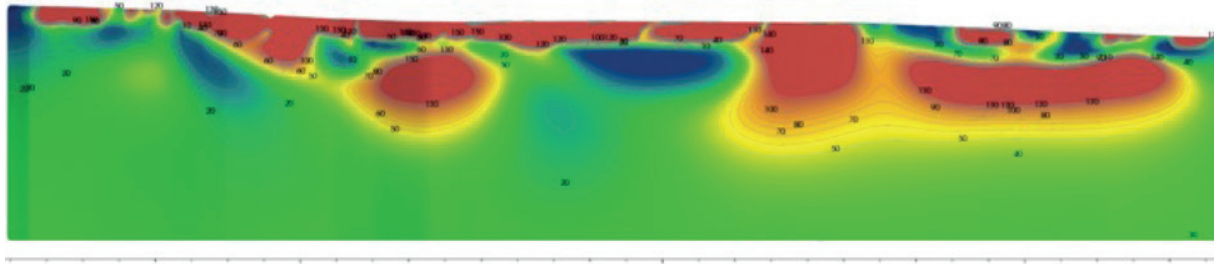


Esempio di sezione sismica a riflessione 2D interpretata, ove si possono apprezzare le principali conformazioni geologiche del sottosuolo della Basilica.

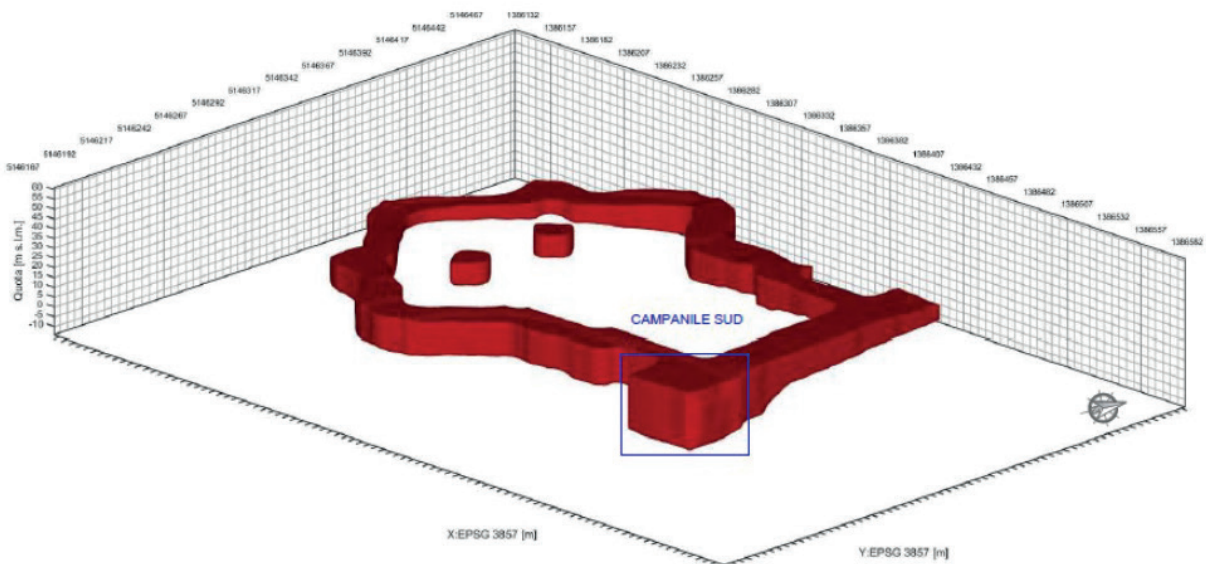
Example of an interpreted 2D reflection seismic section, showing the main geological formations of the Basilica's subsoil.

Esempio di tomografia elettrica interpretata, ove si possono apprezzare le principali caratteristiche della litologia presente al di sotto del corpo monumentale.

Example of an interpreted electrical tomography, showing the main characteristics of the lithology beneath the monumental structure.



Subsoil ModelGeophysical data enabled the creation of a 3D geological model of the subsoil and foundation geometries of the Basilica. Interpretation of radar (GPR), 2D seismic reflection, electrical tomography (ERT), and passive seismic (HVSr) surveys revealed clay, silt and sand lithotypes, as well as foundations, cavities, and buried structures. The model includes the water table surface, a key factor for understanding interactions between foundations and hydrogeological conditions.



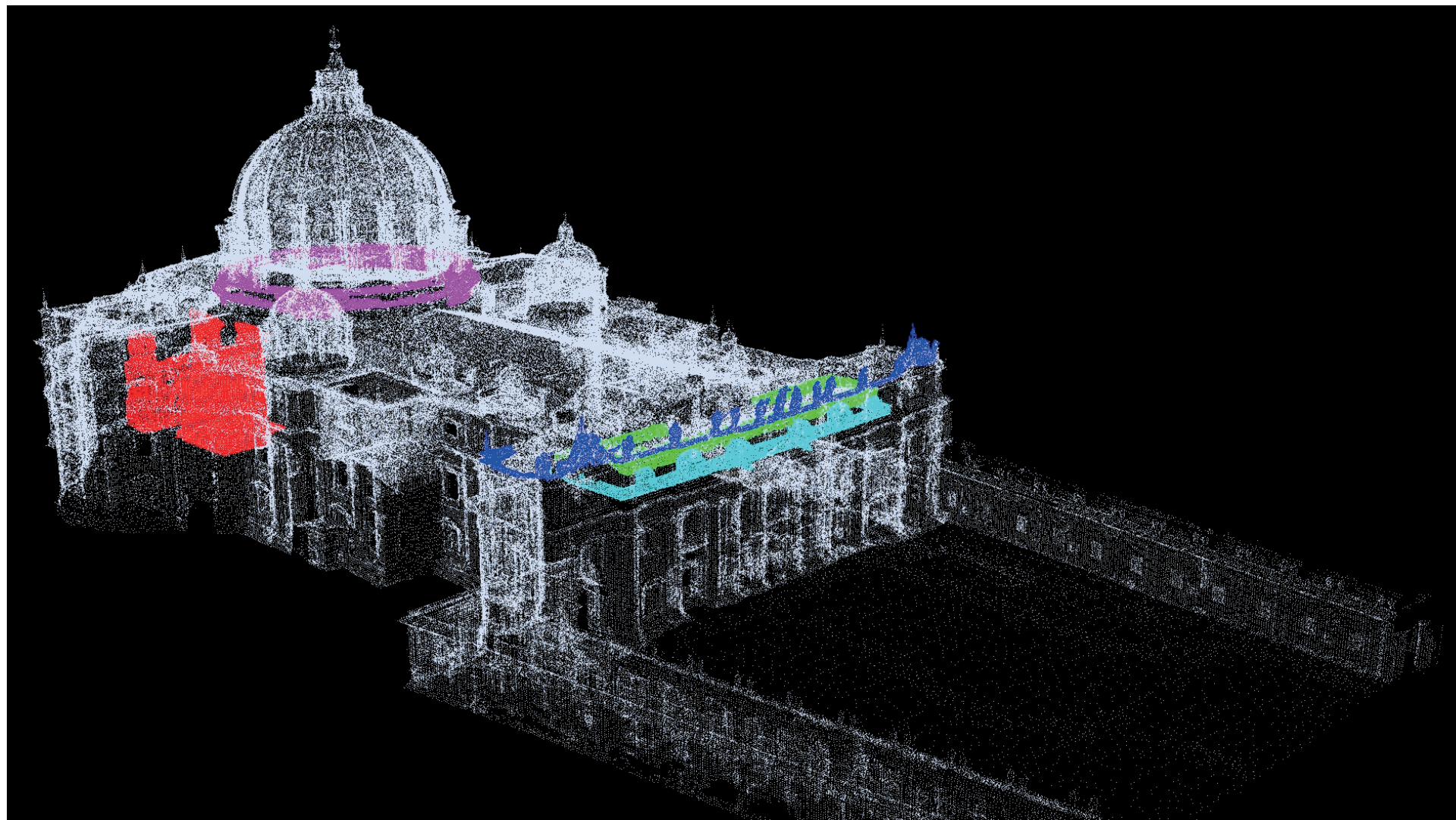
Ricostruzione 3D delle fondazioni della Basilica derivata dalle indagini geofisiche svolte.

3D reconstruction of the Basilica's foundations derived from the geophysical surveys carried out.



## IL SISTEMA DI MONITORAGGIO STRUTTURALE

In parallelo, è stato posato, calibrato e collaudato il sistema di monitoraggio strutturale. I sensori installati sono stati testati e integrati nel modello digitale, con verifica delle risposte statiche e dinamiche. Il sistema è pienamente operativo e dal momento della sua installazione consente il monitoraggio in continuo delle aree sensibili della Basilica, con accesso e visualizzazione in tempo reale ai parametri misurati sotto forma di serie temporali. La piattaforma WebGIS su cui il sistema è implementato garantisce un'interfaccia intuitiva e sicura per la Fabbrica di San Pietro e permetterà le analisi tecniche più opportune rispetto alle finalità conservative che essa si pone.



Restituzione d'insieme a colori del sistema di monitoraggio installato nelle aree della Basilica.

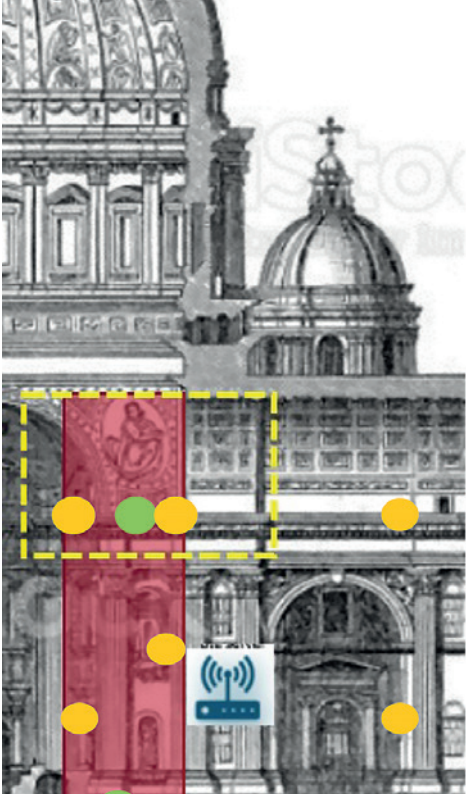
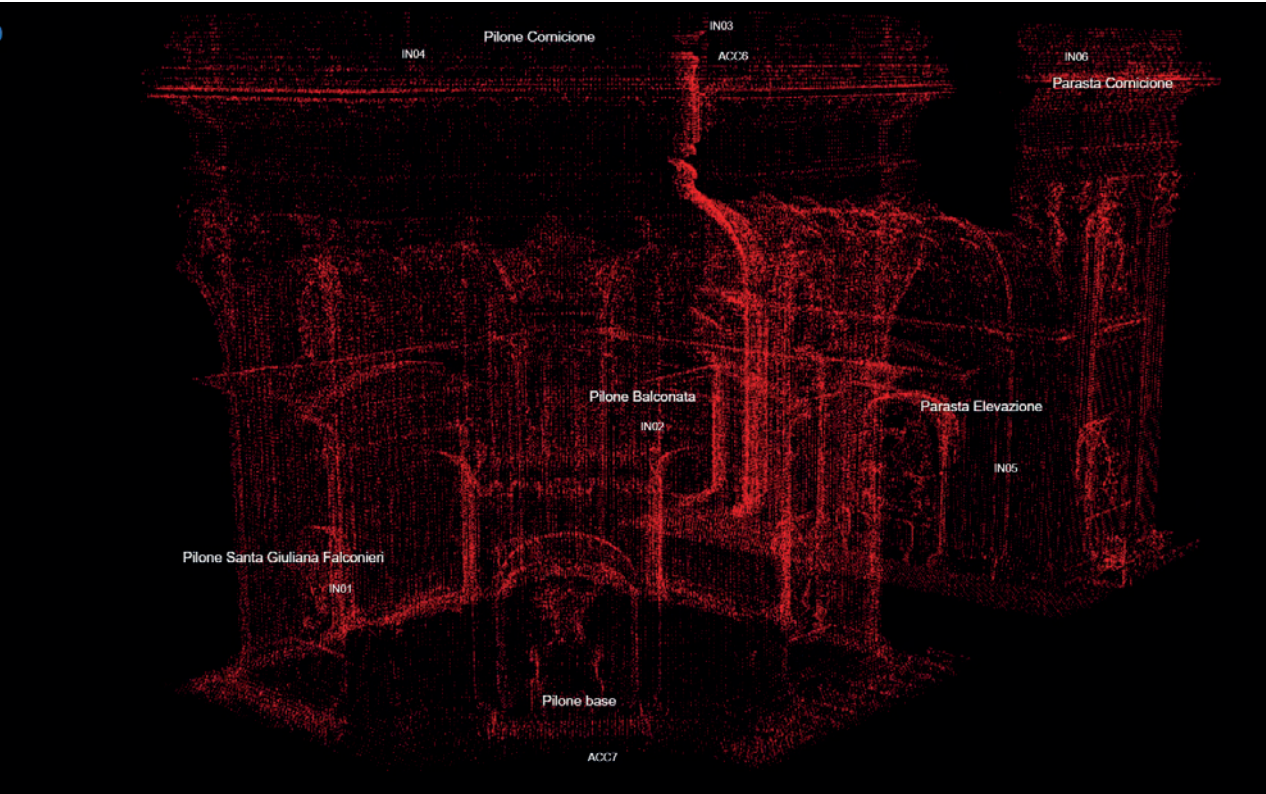
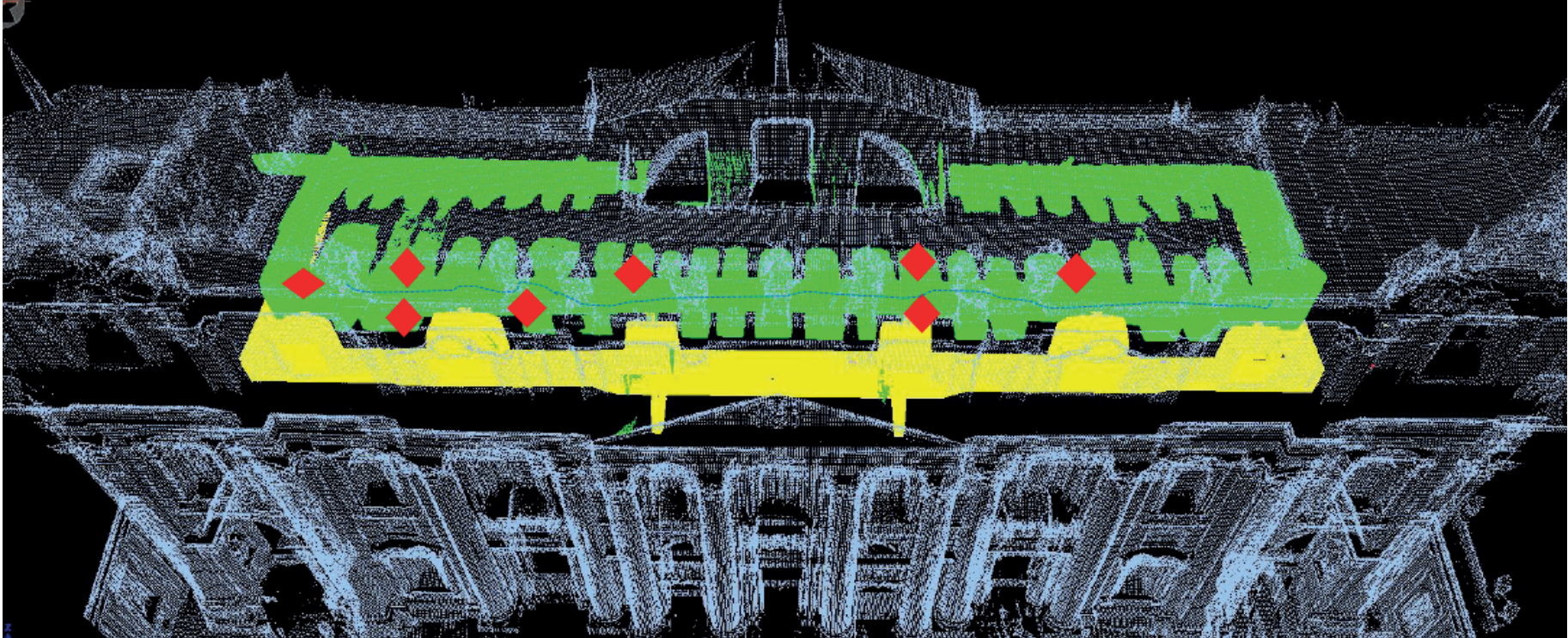
Overall color rendering of the monitoring system installed in the Basilica areas.

In parallel, the structural monitoring system was deployed, calibrated and tested. Sensors were integrated into the digital model, verifying static and dynamic responses. Fully operational since installation, the system provides continuous monitoring of sensitive areas, with real-time data visualization through an intuitive and secure WebGIS platform, supporting future conservation-oriented technical analysis.



Dettaglio della disposizione dei sensori di monitoraggio nel settore del secondo corridore e delle grotticelle.

Detail of the arrangement of monitoring sensors in the area of the second corridor and “grotticelle” corridor .



Dettaglio della disposizione dei sensori di monitoraggio lungo il pilone di Santa Veronica e la parasta di Papa Alessandro VIII compresa la zona del cornicione.

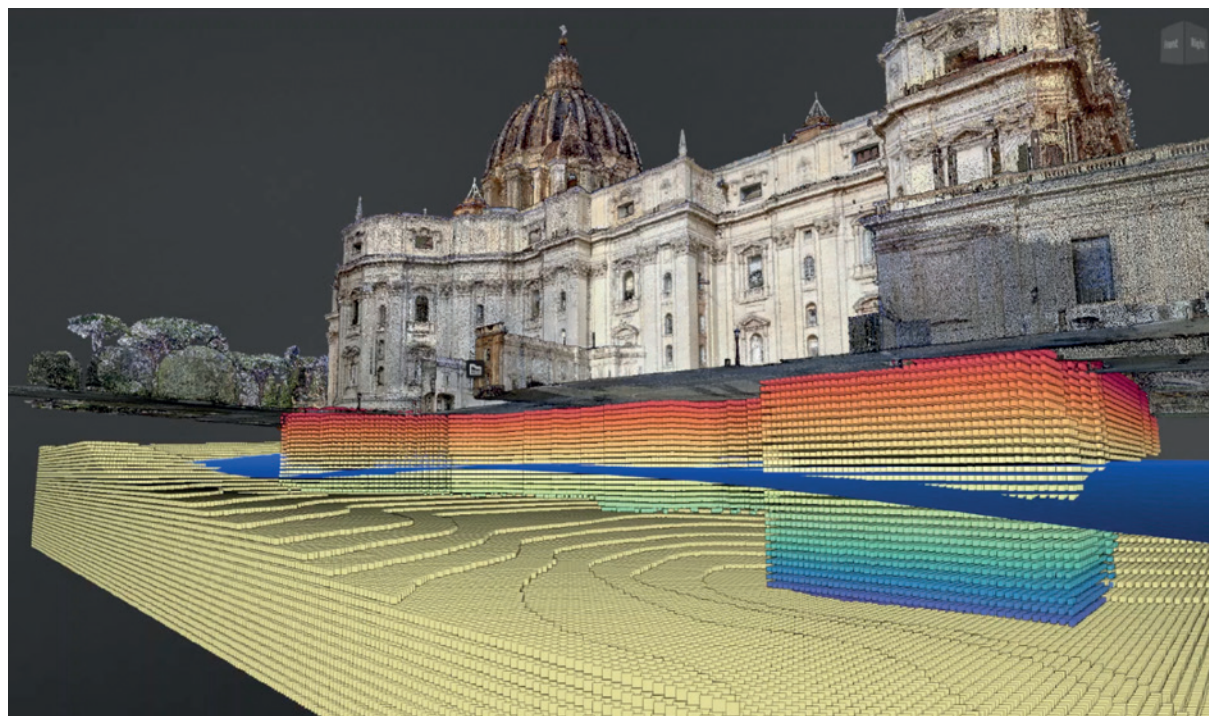
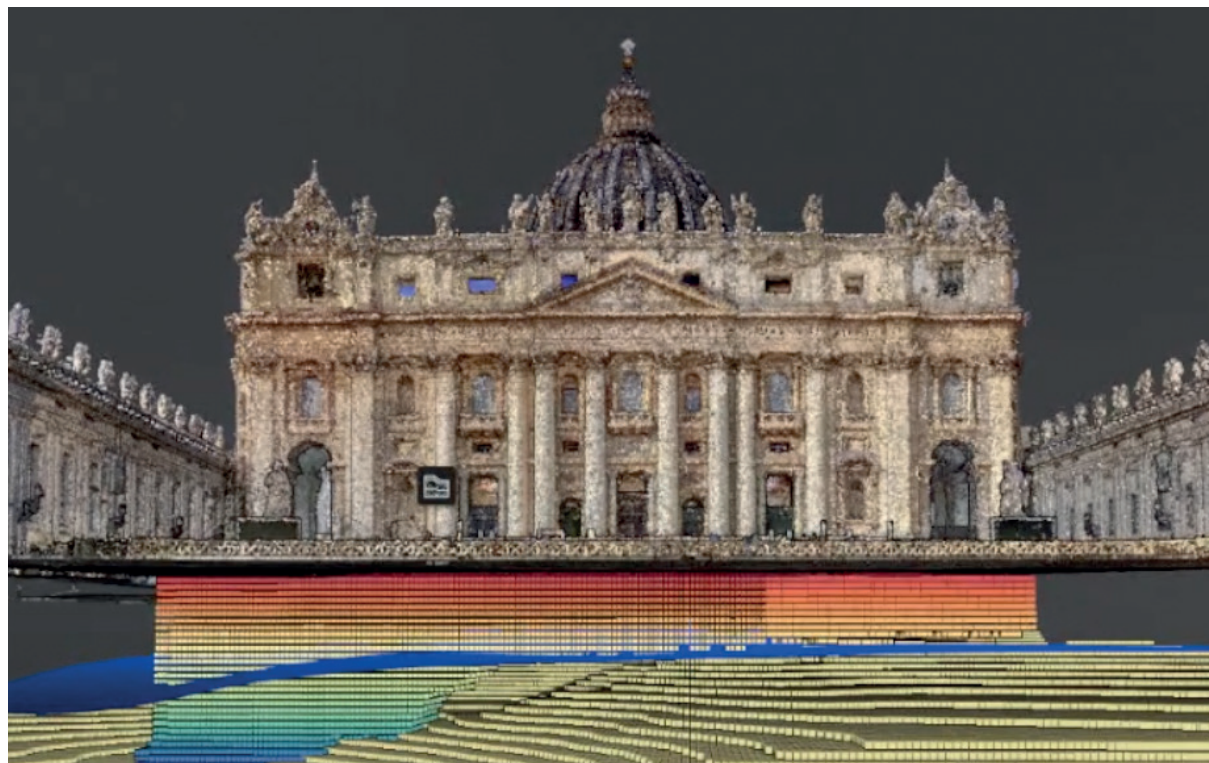
Detail of the arrangement of monitoring sensors along the St. Veronica pier and the pilaster of Pope Alexander VIII, including the cornice area.





## I MODELLI DIGITALI DELL'AREA DELLA BASILICA

### THE DIGITAL MODEL OF ST. PETER'S BASILICA



Il Progetto ha consentito alla Fabbrica di San Pietro di dotarsi di un sistema digitale tridimensionale e interattivo che combina in modo coerente e navigabile tre livelli di rappresentazione: il modello metrico ad alta definizione del monumento comprensivo di aree epigee e ipogee, il modello geologico e idrogeologico del sottosuolo e il modello di monitoraggio strutturale interrogabile in tempo reale.

Attraverso sistemi di riferimento topografici assoluti e sistemi di maglie discrete a scale congruenti si è potuto così ottenere una rappresentazione digitale di alta risoluzione di tutti gli aspetti che riguardano il complesso monumentale, un vero e proprio gemello digitale. Tale gemello è interrogabile in ogni suo punto per derivare informazioni puntuali senza perdere la visione complessiva. Il modello è inoltre navigabile in ogni direzione e osservabile da ogni angolo di prospettiva scelta.

Il modello diviene quindi al tempo stesso il luogo di archiviazione di tutti i dati raccolti e il locus delle interpretazioni effettuate sulle differenti componenti costitutive del sito. Diviene così strumento di consultazione e di elaborazione di nuove valutazioni su cui basare future azioni di studio, approfondimenti archeologici e conservazione del complesso monumentale.

#### The Integrated 3D Digital Model of St. Peter's Basilica

By the project Fabbrica di San Pietro acquired a 3D interactive digital system able to combining three browsable level of representation: a high-definition metric model of the monument (including above- and below-ground areas), a geological and hydrogeological model of the subsoil, and a real-time structural monitoring.

By means of a discrete absolute topographic network fully interconnected it has been possible to build an high resolution model of all the features of

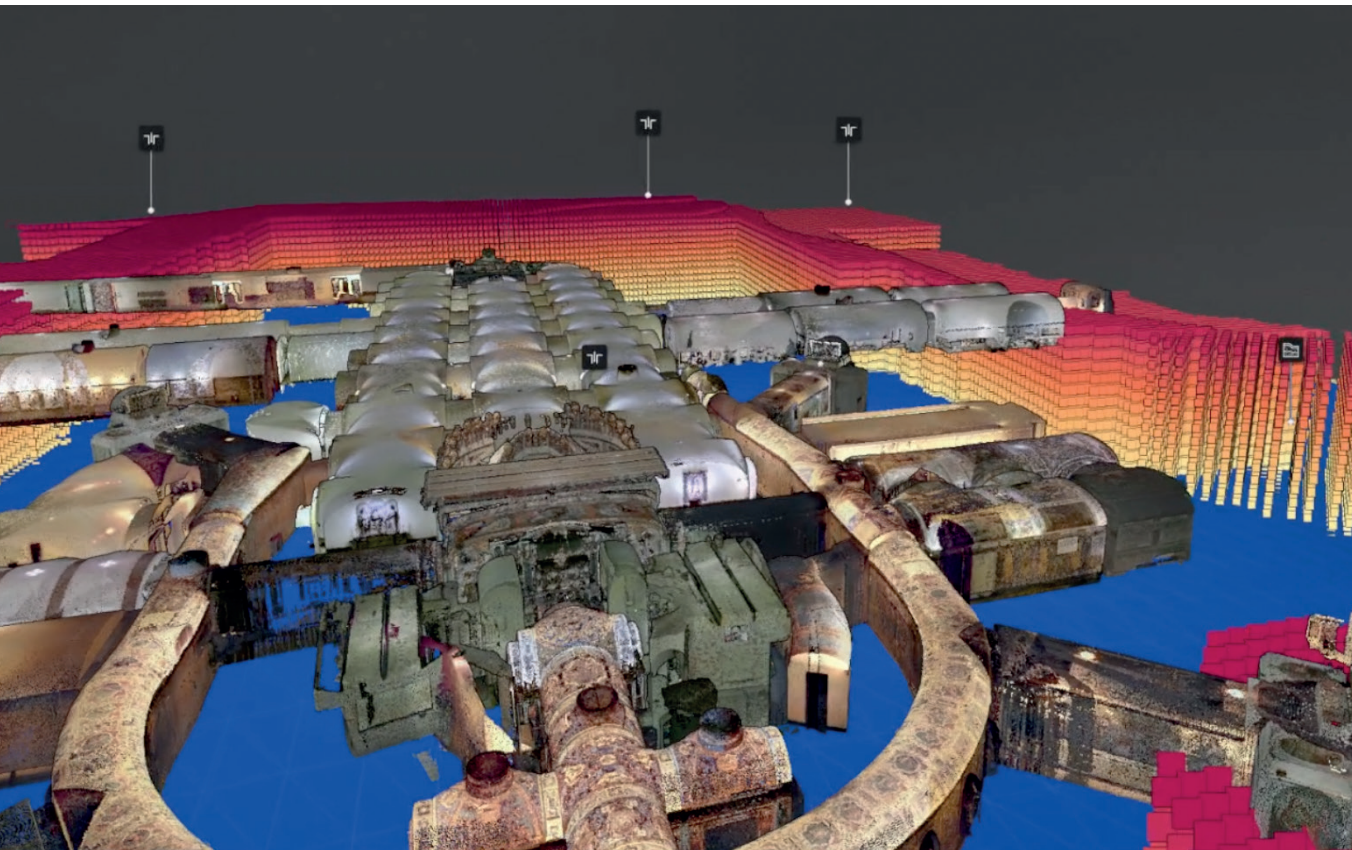


Nella pagina precedente, in alto: vista della facciata della Basilica e delle sue fondazioni inserite nel contesto geologico. In colore blu è ben visibile la superficie di falda e in colore giallo l'andamento della formazione delle marne vaticane digradante da nord verso sud.

On the previous page, at the top: View of the Basilica's façade and its foundations within the geological context. The water table surface is clearly visible in blue, and the trend of the Vatican marl formation sloping from north to south is shown in yellow.

Nella pagina precedente, in basso: vista dell'insieme fondazioni-falda acquifera-substrato geologico. Si può apprezzare l'appoggio diretto della fondazione del campanile sud su materiali geologici di elevata qualità (formazione marne vaticane).

On the previous page, at the bottom: View of the foundations-aquifer-geological substrate ensemble. The direct support of the south bell tower foundation on high-quality geological materials (Vatican marl formation) can be appreciated.



the monumental complex: a true digital twin.

Such could be queried in each single point without losing the global perspective. Furthermore, the model can be handled in order to get information from any different angle of sight. The model is both the repository of all acquired data and the place where all the interpretations can be accessed in order to develop further studies, archaeological campaigns and conservation projects.

## Key Results

The structural monitoring model was integrated with the 3D geological model derived from geophysical investigations. This combined approach allowed the comprehension of the geological sequence beneath the Basilica and its relationship with the foundations highlighting possible critical spots. These set of results have been complemented with the reconstruction of the main water table (~11.5 m depth) offering critical insight into hydrogeological interactions with the foundations.

The effort allowed the validation of historical hypotheses on foundation conditions, confirming deep embedment of the southern bell tower and variable depths along the façade.

The continuous structural monitoring has been validated for detecting displacements, rotations, and accelerations in real time.

Monitoring graphs reveal correlations between structural behavior and seasonal factors such as temperature and groundwater fluctuations, supporting predictive analysis and preventive conservation strategies.

The last but not the least the monitoring system could be useful in consideration of the well renowned seismicity of the area.

La visione 3D delle calotte delle grotte vaticane integrate negli elementi di fondazione della Basilica. In colore blu la posizione della falda acquifera.

3D view of the vaults of the Vatican Grottoes integrated into the Basilica's foundation elements. The position of the aquifer is shown in blue.



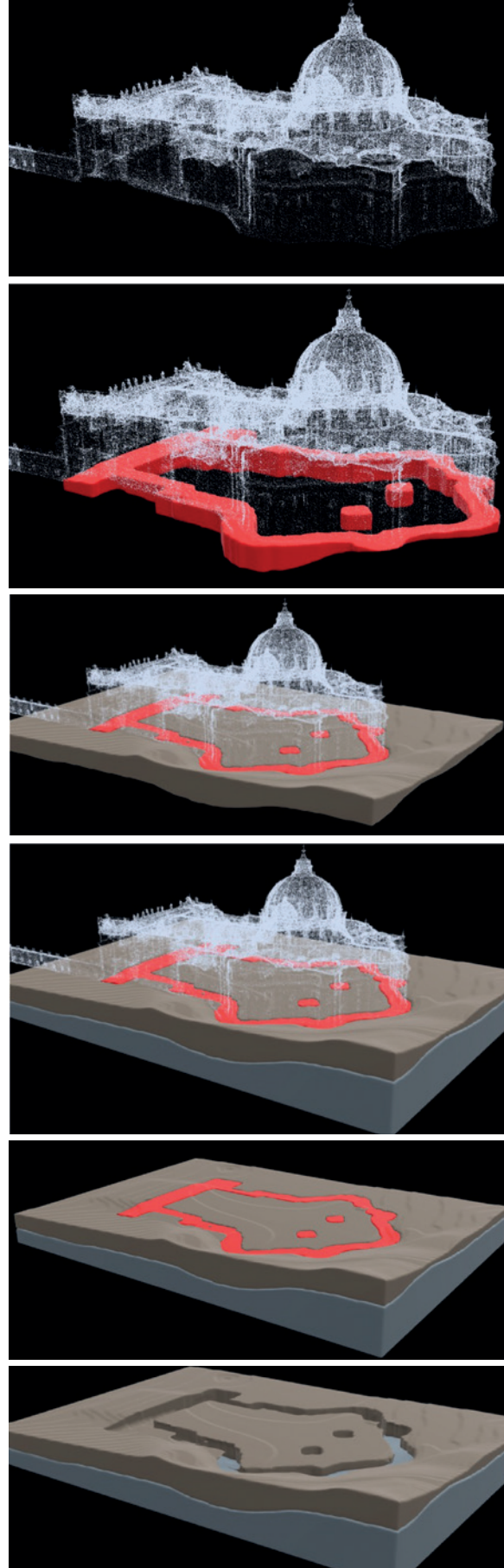
## RISULTATI FONDAMENTALI OTTENUTI DAL PROGETTO

Tra i risultati più significativi emersi da questo lavoro, si evidenzia la ricostruzione areale del modello geologico del complesso monumentale, con la definizione puntuale della profondità e distribuzione dei corpi geologici principali interessati dal sedime della Basilica.

È stato possibile validare l'ipotesi storica formulata da eminenti studiosi del passato come Mons. Virgilio Spada e Giovan Battista Grimaldi (XVII secolo), secondo i quali le fondazioni del campanile sud e della cantonata di facciata meridionale del Maderno erano immerse nelle argille per una profondità notevole che per il campanile sud arrivava a raggiungere più di 30 m dal piano del portico; le indagini geofisiche hanno confermato questa osservazione, mostrando un buon immorsamento strutturale del campanile sud sul tetto delle marne Vaticane. Al contrario,

Visione complessiva del modello 3D areale del complesso monumentale, delle sue fondazioni e del substrato geologico sottostante alla Basilica suddiviso nei differenti livelli che lo compongono. Si possono apprezzare: in grigio la disposizione geometrica delle marne vaticane, in ocra gli strati delle alluvioni del Tevere e successivi riporti antropici. In rosso la ricostruzione delle fondazioni del monumento.

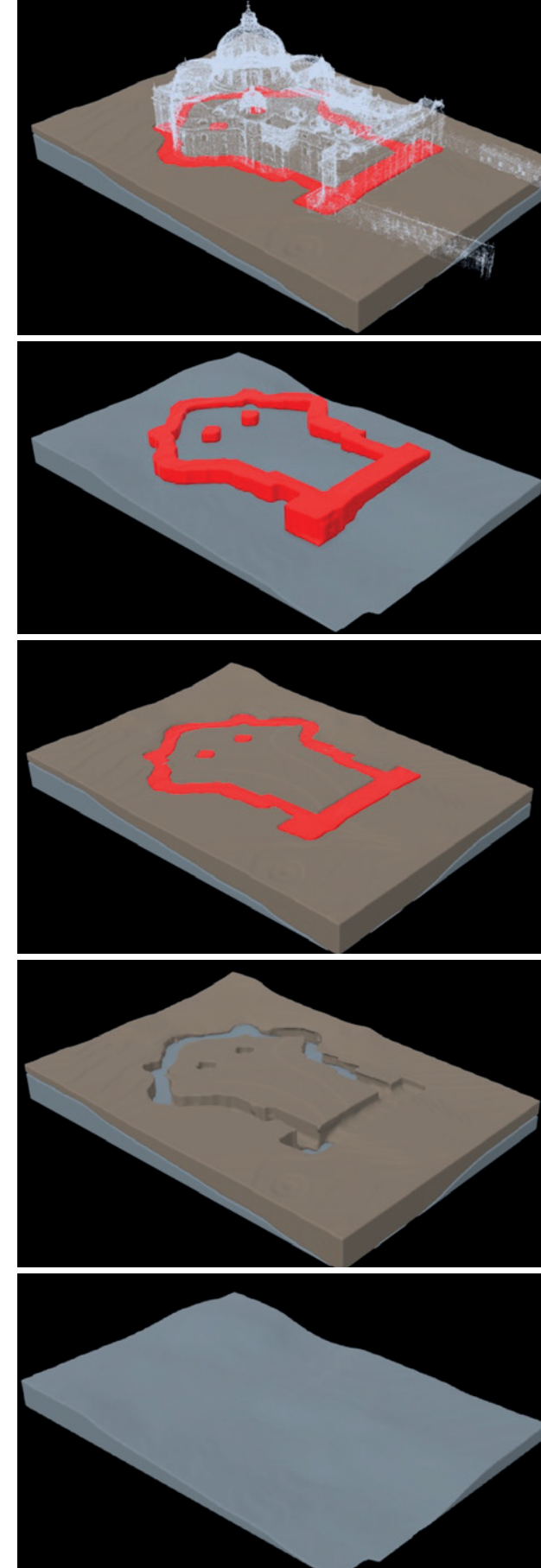
Overall view of the 3D aerial model of the monumental complex, its foundations, and the geological substrate beneath the Basilica, divided into its different constituent layers. Visible elements include in gray, the geometric arrangement of the Vatican marl; in ochre, the layers of the Tiber alluvium and subsequent anthropogenic fills; in red, the reconstruction of the monument's foundations.



per la facciata del Maderno (parte meridionale, centrale e settentrionale), le fondazioni risultano via via meno profonde procedendo da sud verso nord poggiando su strati argillosi e limo-sabbiosi più superficiali (alluvioni del Tevere), con assenza di contatto diretto dei manufatti con le marne vaticane. L'interazione delle strutture di fondazione più meridionali della facciata e del campanile sud con la falda attiva e posizionata abbastanza stabilmente ad una profondità di circa 11,50 m dal piano del portico, rappresenta uno degli elementi sensibili che hanno caratterizzato il comportamento strutturale di queste porzioni della struttura della Basilica, dalla costruzione ai giorni nostri.

Per i piloni di Santa Veronica e Sant'Elena, le indagini geofisiche eseguite e interpretate hanno mostrato una situazione, con fondazioni che raggiungono le marne ma con elementi di discontinuità per la superficie d'appoggio; la fondazione del pilone di Santa Veronica appoggia sulla marna soltanto per una porzione limitata della sua superficie utile complessiva, mentre la fondazione del pilone di Sant'Elena vi appoggia pressoché su tutta la sua superficie. Questa osservazione spiegherebbe la tendenza del pilone di Santa Veronica ad avere piccoli cedimenti differenziali concentrati soprattutto nella parte est del basamento dove questo appoggia decisamente su argille.

Il modello geologico ha inoltre permesso di definire con ottima







approssimazione la tipologia qualitativa dei terreni di appoggio delle fondazioni della Basilica e la loro distribuzione areale in termini di profondità rispetto al piano campagna, fornendo una mappa interpretativa utile per la valutazione dello status del monumento divenendo quindi la base per la pianificazione di possibili futuri interventi conservativi.

Altro risultato fondamentale ottenuto dal progetto è la validazione del sistema di monitoraggio strutturale in continuo, che ha dimostrato la propria efficacia nel rilevare spostamenti, rotazioni e accelerazioni in tempo reale.

I grafici di monitoraggio mostrano l'evoluzione dei principali parametri strutturali in aree sensibili come la facciata, il tamburo della cupola e il pilone di Santa Veronica e la parasta di Papa Alessandro VIII.

Dalla lettura del loro andamento possono evidenziarsi correlazioni fondamentali per accrescere la conoscenza del comportamento della struttura, come:

- la valutazione sulle variazioni dei parametri monitorati in funzione dei parametri stagionali (la temperatura e le oscillazioni dei livelli della falda acquifera);
- l'individuazione preventiva di tendenze negative degli stessi;
- gli effetti della presenza attorno al sito di una metropoli moderna;
- l'assidua frequentazione di pellegrini e turisti.





GLOSSARIO TECNICO /  
TECHNICAL GLOSSARY



GLOSSARIO TECNICO

**Accelerometro**

Sensore che misura accelerazioni e vibrazioni, utile per analisi dinamiche e frequenze modali delle strutture.

**Ambiente epigeo**

Parte del monumento fuori terra, comprendente facciata, colonnati, coperture e aree esterne.

**Ambiente ipogeo**

Spazi sotterranei del monumento, come grotte, necropoli

**Caposaldi topografici**

Punti di riferimento stabili e georeferenziati, materializzati sul terreno, utilizzati per garantire la precisione e la coerenza delle misurazioni topografiche e dei rilievi 3D.

**Falda acquifera**

Strato del sottosuolo saturo d’acqua, la cui posizione e variazioni influenzano il comportamento delle fondazioni.

**Fotogrammetria da drone**

Tecnica che utilizza immagini aeree acquisite da droni per creare modelli 3D e ortofoto ad alta risoluzione.

**Gemello digitale (Digital Twin)**

Modello digitale integrato che rappresenta fedelmente un oggetto fisico, consentendo monitoraggio in tempo reale e simulazioni.

**Geofono**

Sensore elettromeccanico utilizzato nelle indagini sismiche per convertire

le vibrazioni del terreno in segnali elettrici, permettendo la registrazione delle onde sismiche generate artificialmente o naturalmente

**Georadar (GPR – Ground Penetrating Radar)**

Tecnologia non invasiva che utilizza onde elettromagnetiche per rilevare strutture sepolte, cavità e variazioni stratigrafiche nei primi metri di profondità.

**GPS (Global Positioning System)**

Sistema di posizionamento satellitare che consente di determinare la posizione geografica con precisione metrica o sub-metrica.

**HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio)**

Metodo geofisico che analizza il rapporto tra le componenti orizzontali e verticali delle onde sismiche ambientali per stimare le frequenze di risonanza del terreno.

**Inclinometro**

Strumento o sensore che misura l’inclinazione di un elemento rispetto alla verticale o all’orizzontale. Utilizzato nel monitoraggio strutturale per rilevare rotazioni e spostamenti angolari di parti del monumento

**Laser scanning**

Tecnologia di rilievo tridimensionale che acquisisce milioni di punti con precisione millimetrica, generando una nuvola di punti per la ricostruzione geometrica.

**Mobile mapping**

Sistema di rilievo dinamico che integra sensori e telecamere montati su veicoli per acquisire dati spaziali in movimento.

**Nuvola di punti**

Insieme di punti tridimensionali acquisiti da laser scanner o fotogrammetria, che descrivono la geometria di una superficie o di un oggetto.

**Parasta**

Elemento architettonico verticale simile a una semicolonna, addossato a una parete per funzione decorativa o strutturale.

**Perforazioni geognostiche**

Perforazioni più o meno profonde nel terreno eseguite per prelevare campioni e analizzare le caratteristiche meccaniche degli strati del sottosuolo.

**Pozzi e barulle**

Sistema di fondazione storica che utilizza pozzi verticali riempiti di materiale e collegati da travi (archi) per distribuire i carichi su terreni poco consistenti.

**Rilievo topografico**

Rilievo delle coordinate spaziali di punti sul terreno mediante strumenti come GPS e stazioni totali, per definire una rete di riferimento georeferenziata.

**Sismica a riflessione**

Tecnica geofisica che impiega onde elastiche per ricostruire la stratigrafia del sottosuolo, evidenziando le superfici di contatto tra strati geologici e fondazioni.

**Sistema di monitoraggio strutturale**

Insieme di sensori (CGPS, inclinometri,

accelerometri) che rilevano spostamenti, rotazioni e vibrazioni per valutare la stabilità delle strutture.

**Stazione totale**

Strumento topografico che misura angoli e distanze per determinare coordinate tridimensionali di punti sul terreno.

**Tomografia elettrica resistiva (ERT – Electrical Resistivity Tomography)**

Indagine che misura la resistività elettrica dei terreni per ricostruire la distribuzione dei materiali e individuare la falda acquifera.

**WebGIS**

Sistema informativo geografico (GIS) accessibile tramite web, che consente la visualizzazione, l’analisi e la condivisione di dati geospaziali attraverso un browser.



TECHNICAL GLOSSARY

**Accelerometer**

Sensor that measures accelerations and vibrations, useful for dynamic analysis and modal frequencies of structures.

**Digital Twin**

Integrated digital model that faithfully represents a physical object, enabling real-time monitoring and simulations.

**Drone Photogrammetry**

Technique that uses aerial images acquired by drones to create 3D models and high-resolution orthophotos.

**Electrical Resistivity Tomography (ERT)**

Survey that measures the electrical resistivity of soils to reconstruct material distribution and identify the water table.

**Epigean Environment**

Above-ground part of the monument, including façade, colonnades, roofs, and external areas.

**Geognostic Boreholes**

drillings in the ground carried out to collect samples and analyze the mechanical characteristics of subsurface layers.

**Geophone**

An electromechanical sensor used in seismic surveys to convert ground

vibrations into electrical signals, enabling the recording of seismic waves generated either artificially or naturally

**GPS (Global Positioning System)**

Satellite positioning system that allows determining geographic position with metric or sub-metric accuracy.

**Ground Penetrating Radar (GPR)**

Non-invasive technology that uses electromagnetic waves to detect buried structures, cavities, and stratigraphic variations within the first meters of depth.

**HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio)**

Geophysical method that analyzes the ratio between the horizontal and vertical components of ambient seismic waves to estimate the ground’s resonance frequencies

**Hypogean Environment**

Underground spaces of the monument, such as caves, necropolises.

**Inclinometer**

Instrument or sensor that measures the inclination of an element relative to vertical or horizontal. Used in structural monitoring to detect rotations and angular displacements of monument parts.

**Laser Scanning**

Three-dimensional surveying technology that captures millions of points with millimetric precision, generating a point cloud for geometric reconstruction.

**Mobile Mapping**

Dynamic surveying system that integrates sensors and cameras mounted on vehicles to collect spatial data while in motion.

**“Parasta” or Pilaster Strip**

Vertical architectural element similar to a half-column, attached to a wall for decorative or structural purposes.

**Point Cloud**

Set of three-dimensional points acquired by laser scanning or photogrammetry, describing the geometry of a surface or object.

**Reflection Seismic**

Geophysical technique that employs elastic waves to reconstruct subsurface stratigraphy, highlighting contact surfaces between geological layers and foundations.

**Structural Monitoring System**

Set of sensors (CGPS, inclinometers, accelerometers) that detect displacements, rotations, and vibrations to assess structural stability.

**Topographic Benchmarks**

Stable and georeferenced reference points, materialized on the ground, used to ensure accuracy

and consistency in topographic measurements and 3D surveys.

**Topographic Survey**

Survey of spatial coordinates of ground points using instruments such as GPS and total stations to define a georeferenced reference network.

**Total Station**

Topographic instrument that measures angles and distances to determine three-dimensional coordinates of ground points.

**Water Table**

Subsurface layer saturated with water, whose position and variations influence foundation behavior.

**WebGIS**

Web-accessible Geographic Information System (GIS) that allows visualization, analysis, and sharing of geospatial data through a browser.

**Wells and Barulle**

Historical foundation system that uses vertical wells filled with material and connected by beams (arches) to distribute loads on weak soils.



Testi curati da:

Ing. Fabrizio Mastai  
*Knowledge Owner Civil Engineering Eni  
& Project Manager del Progetto*

Dott. Davide Calcagni  
*Senior Advisor to Exploration Director Eni  
& Technical and Scientific Advisor del Progetto*

Finito di stampare febbraio 2026 /  
*Printed February 2026*

Varigrafica, Roma







BASILICA DI  
SAN PIETRO