



PROPOSTA TECNICO-SCIENTIFICA ED ECONOMICA PRELIMINARE

**STUDIO GEOFISICO NEL SITO DELL'EDIFICIO MONUMENTALE
DELLA BASILICA DI SAN MICHELE MAGGIORE NEL COMUNE DI PAVIA**

PREMESSA

La Proposta tecnico-scientifica ed economica preliminare riguardante la realizzazione di uno **studio geofisico** nel sito dell'edificio monumentale della **Basilica di San Michele Maggiore di Pavia** si inquadra nell'ambito della **convenzione quadro** (approvata dal Senato Accademico dell'Università degli Studi di Pavia in data 15 ottobre 2012) di collaborazione tra **Università degli studi di Pavia, Politecnico di Milano, Associazione "Il Bel San Michele" Onlus**, finalizzata allo studio della Basilica di San Michele Maggiore di Pavia allo scopo di offrire elementi utili per la valorizzazione, il restauro e la manutenzione della stessa.

In particolare, lo studio geofisico è parte integrante della proposta di studio multidisciplinare presentata da **Prof. Massimo Setti, Dott.ssa Claudia Meisina, Dott. Giorgio Pilla, Dott. Patrizio Torrese** del Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Pavia "**La Basilica di San Michele Maggiore: la pietra e il sottosuolo - Indagini mineralogico-petrografiche, idrogeologiche e geofisiche**".

INTRODUZIONE – TECNICHE MICRO GEOFISICHE E GEOFISICHE

Le tecniche micro geofisiche e geofisiche non distruttive o non invasive trovano un ampio utilizzo nell'ambito della diagnostica finalizzata all'analisi, al restauro, alla gestione dei beni architettonici di rilevanza storico-artistica.

In questo settore, infatti, l'applicazione di tali tecniche contribuisce ad accrescere il grado di conoscenza oggettiva dello stato di consistenza e di conservazione dei manufatti architettonici, dei materiali coinvolti, delle tecniche costruttive e a fornire indicazioni utili e determinanti per la progettazione e la realizzazione di interventi di consolidamento, restauro e ristrutturazione dei beni monumentali.

Una conoscenza approfondita del manufatto consente di eseguire interventi mirati e di utilizzare materiali e parametri di calcolo strutturale, termico e acustico appropriati,



recuperando il maggior onere per l'esecuzione delle indagini non distruttive con un considerevole risparmio economico in fase esecutiva.

Tra le metodologie micro geofisiche e geofisiche impiegabili per il raggiungimento di tali obiettivi, le maggiormente utilizzate sono il Ground Penetrating Radar 2D o 3D (comunemente chiamato anche georadar o GPR), la termografia all'infrarosso, la tomografia elettrica 2D o 3D (ERT), la tomografia ultrasonica, la vibrometria laser, la sismica a rifrazione e MASW, l'analisi sismica vibrometrica. Queste metodologie utilizzano campi d'onda (tecniche elettromagnetiche, sismiche, ultrasoniche) in modalità di trasmissione, riflessione, diffrazione, rifrazione e risonanza d'onda, o campi di potenziale (tecniche di misura del potenziale spontaneo, della resistività elettrica, della polarizzazione indotta). L'applicabilità, i limiti, la profondità d'investigazione, la risoluzione verticale e laterale, sono caratteristiche peculiari di ogni metodologia, il cui impiego deve essere valutato in funzione del contesto in cui si opera e delle finalità della prospezione.

Il tipo d'informazione ottenibile è anch'esso strettamente connesso con la metodologia: **la localizzazione e la mappatura di cavità e strutture** nascoste nella muratura o **sepolte al di sotto della pavimentazione**, il riconoscimento e la caratterizzazione di strutture di fondazione, di sotto servizi, **la mappatura di preesistenze archeologiche e rogge sepolte**, la ricostruzione della superficie piezometrica, possono prevedere l'utilizzo della tecnica elettromagnetica **GPR** a bassa frequenza; la determinazione delle caratteristiche costruttive, della tessitura muraria o di elementi architettonici inglobati nella muratura, la definizione degli spessori e delle caratteristiche di parametri lapidei decorativi o strutturali, il rilievo di disomogeneità o di punti di debolezza delle sezioni murarie, sono ottenibili mediante utilizzo di segnali elettromagnetici a frequenze medie; la localizzazione di distacchi e intercapedini, la valutazione e la caratterizzazione di quadri fessurativi osservabili in superficie, la valutazione dello stato di conservazione e la caratterizzazione degli elementi lapidei decorativi, sono tutti elementi ottenibili mediante l'utilizzo di segnali ad alta frequenza.

La tecnica GPR può essere applicata singolarmente, o meglio, unitamente ad altre metodologie: la tomografia elettrica fornisce utili informazioni sugli elementi più profondi come la **presenza di strutture di fondazione, di preesistenze archeologiche, di cavità, di rogge sepolte**.



La termografia infrarossa trova invece un ampio utilizzo nella mappatura di zone umide, di zone di distacco dell'intonaco, di zone di sutura tra diverse fasi decorative, nella valutazione dello stato di adesione degli affreschi e dei mosaici, nell'individuazione di fessure interne e di zone d'indebolimento strutturale del materiale.

Come la termografia infrarossa, anche la vibrometria laser è una tecnica totalmente non invasiva, non necessitando del contatto con la superficie del materiale. Le analisi di vibrometria laser, che rappresentano lo sviluppo dell'indagine sonica e dell'analisi di frequenza con accelerometro, possono coadiuvare quelle termografiche nella caratterizzazione quali-quantitativa dei rivestimenti superficiali e delle strutture murarie, relativamente al grado di ammorsamento e di vincolo, o alla presenza di difetti e distacchi, nella valutazione dello stato di mobilità e di conservazione del rivestimento in lastre, della presenza di umidità sugli affreschi.

Anche la tomografia ultrasonica che prevede, tuttavia, il contatto con la superficie del mezzo da analizzare, è utile nell'individuazione di fessure interne, cavità, vuoti, zone di distacco, presenza di acqua, zone di umidità, indebolimento strutturale del materiale.

E', invece, nella **caratterizzazione geometrica e parametrica del terreno di fondazione** del bene monumentale e nella **ricostruzione della superficie piezometrica e delle condizioni di saturazione** che tecniche come la **tomografia elettrica 2D o 3D (ERT)** e la **sismica** a rifrazione, **MASW e REMI** trovano maggior utilizzo. Queste ultime tecniche sismiche, inoltre, permettono una definizione fisico-meccanica dinamica del suolo di fondazione che può essere finalizzata, come peraltro **l'analisi sismica vibrometrica** del complesso, allo studio della **vulnerabilità sismica** del monumento, propedeutico all'intervento di **miglioramento in chiave sismica delle caratteristiche di stabilità** del bene architettonico.



1- PROPOSTA TECNICO-SCIENTIFICA

A- Studio elettrico-elettromagnetico finalizzato alla localizzazione e mappatura di preesistenze archeologiche

Lo studio geofisico finalizzato alla localizzazione e mappatura di preesistenze archeologiche nel sito della Basilica di S. Michele Maggiore di Pavia può essere realizzato in due fasi esplorative:

Fase esplorativa preliminare:

Area interna della Basilica

-Realizzazione di una prospezione **GPR** (Ground Penetrating Radar) **3D** con frequenze di **200-600 MHz** lungo una maglia regolare costituita da profili (paralleli e perpendicolari) aventi spaziature di 2 m, al fine di elaborare un **modello 3D con profondità di circa 2-3 m**. L'area interessata dall'indagine è indicata nella mappa di ubicazione delle indagini (Tav. 1) con 3D-GPR-ERT_1, 3D-GPR_2. L'indagine è **assolutamente non invasiva**, non andando a danneggiare in alcun modo il pavimento della Basilica.

Area esterna della Basilica

-Realizzazione di n. **4** profili **GPR** (Ground Penetrating Radar) con frequenze di **200-600 MHz**, al fine di ricostruire **quattro sezioni** (lungo due trasversali) **con profondità di circa 2-3 m**. I due profili con orientazione NNE-SSW e lunghezza 135 m circa, indicati nella mappa di ubicazione delle indagini (Tav. 1) con 2D-GPR_1-2 saranno acquisiti lungo Via Felice Cavallotti, Via San Michele, Viale Paolo Diacono. I due profili con orientazione WNW-ESE di lunghezza 240 m circa, indicati nella mappa di ubicazione delle indagini (Tav. 1) con 2D-GPR_3-4 saranno acquisiti lungo Via Severino Capsoni e Via Antonio Scarpa. L'indagine è **assolutamente non invasiva**, non andando a danneggiare in alcun modo la pavimentazione stradale.

<i>Strumentazione impiegata</i>
GPR opportunamente attrezzato con set standard di antenne da 200-600 MHz, scansione monostatica - Sistema Radar IDS HI-MOD.



Fase esplorativa di approfondimento:

La necessità di realizzare questa ulteriore fase esplorativa andrà valutata in base ai risultati ottenuti dalla fase esplorativa preliminare.

Area interna della Basilica

-Realizzazione di una prospezione **ERT** (Electric Resistivity Tomography) **3D** lungo una maglia regolare costituita da **almeno 48 elettrodi** (+ elettrodo remoto), utilizzando sia il dispositivo elettrodico **dipolo-dipolo** (senza elettrodo remoto), sia il dispositivo elettrodico **polo-dipolo** (con elettrodo remoto), al fine di elaborare un **modello 3D con profondità massima dell'ordine dei 15 m**. L'area interessata dall'indagine è indicata nella mappa di ubicazione delle indagini (Tav. 1) con 3D-GPR-ERT_1 e si sovrappone a gran parte dell'indagine GPR 3D. L'indagine è **non invasiva**, non andando a danneggiare in alcun modo il pavimento della Basilica. Saranno, infatti, utilizzati **elettrodi che non prevedono l'infissione**, ma che saranno semplicemente **appoggiati sul pavimento** della Basilica. L'elettrodo remoto, utilizzato solo per l'acquisizione mediante dispositivo elettrodico polo-dipolo, sarà, invece, infisso nel suolo esternamente alla Basilica ad una grande distanza da essa.

Area esterna della Basilica

-Realizzazione di n. **2** profili **ERT** (Electric Resistivity Tomography) al fine di ricostruire **due sezioni trasversali con profondità massima dell'ordine dei 40 m**. Saranno utilizzati **48 elettrodi** con dispositivo elettrodico **Wenner-Schlumberger**. Il profilo con orientazione NNE-SSW di lunghezza 235 m, indicato nella mappa di ubicazione delle indagini (Tav. 1) con 2D-ERT_1 sarà acquisito lungo Via Felice Cavallotti, Via San Michele, Viale Paolo Diacono. Il profilo con orientazione WNW-ESE di lunghezza 235 m, indicato nella mappa di ubicazione delle indagini (Tav. 1) con 2D-ERT_2 sarà acquisito lungo Via Severino Capsoni e Via Antonio Scarpa. I profili ERT si sovrappongono a gran parte dei profili GPR. Pur essendo l'indagine **non invasiva**, è necessario che gli elettrodi siano infissi nel suolo (per circa 35 cm). *I profili ERT permetteranno di raggiungere profondità d'investigazioni molto maggiori rispetto ai profili GPR. In tal senso saranno utili non solo per localizzazione e mappatura di preesistenze archeologiche (confronto con le indagini GPR nell'ambito della stessa profondità), ma anche per la ricostruzione del modello geologico-idrogeologico del sottosuolo e la determinazione di eventuali riporti antropici effettuati in epoca storica per l'urbanizzazione dell'area.*



<i>Strumentazione impiegata</i>
Georesistivimetro IRIS SYSCAL Junior Switch 48 per la misura di Resistività e Polarizzazione Indotta in multielettrodo (tomografia), comprensivo di scatola di commutazione per 48 elettrodi e generatore di corrente tutto all'interno della stessa unità, 400V, 100W, 1.2A

Tempistica della fase di acquisizione dati in situ
Fase esplorativa preliminare: _____ 5 gg lavorativi
Fase esplorativa di approfondimento: _____ 5 gg lavorativi

B- Studio sismico propedeutico al miglioramento in chiave sismica delle caratteristiche di stabilità del campanile della Basilica

Lo studio geofisico finalizzato al miglioramento in chiave sismica delle caratteristiche di stabilità del campanile della Basilica di S. Michele Maggiore di Pavia può essere realizzato in due fasi esplorative:

Fase esplorativa preliminare:

-Realizzazione di n. 1 profilo **MASW-REMI** al fine di ricostruire **una sezione con profondità massima di circa 30 m**. Il profilo, con orientazione WNW-ESE e lunghezza di circa 85 m, indicato nella mappa di ubicazione delle indagini (Tav. 1) con 2D_MASW-REMI 1 sarà acquisito lungo Piazza San Michele. Pur essendo l'indagine **non invasiva**, è necessario che geofoni siano infissi nel suolo (per qualche centimetro). L'energizzazione sarà effettuata mediante **massa battente** o mediante **cannoncino sismico**.

-Realizzazione di un **monitoraggio vibrometrico passivo** alla base del campanile e a differenti altezze dello stesso al fine di ricostruire la **frequenza di risonanza** del sito e della struttura.

<i>Strumentazione impiegata</i>
Sismografo digitale a 24 bit e 24 canali, con appositi cavi e geofoni, energizzatore massa battente o cannoncino sismico, geofono triassiale $\leq 2\text{Hz}$



Fase esplorativa di approfondimento:

La necessità di realizzare questa ulteriore fase esplorativa andrà valutata in base ai risultati ottenuti dalla fase esplorativa preliminare.

-Realizzazione di **n. 1 sondaggio a carotaggio continuo** fino alla profondità di **30 m**, nei pressi del campanile, finalizzato alla ricostruzione di dettaglio della **stratigrafia del suolo di fondazione**. Il foro sarà strumentato con **tubo per indagini sismiche** e sarà utilizzato per la

-Realizzazione di un'indagine sismica tipo **Down-Hole in onde P e SH** che permetterà di ricavare i parametri **V_p, V_s, V_{s30} e moduli elasto-dinamici**.

<i>Strumentazione impiegata (solo indagine sismica)</i>
Sismografo digitale a 24 bit e 24 canali, energizzatore massa battente o cannoncino sismico per onde P, cassa per onde SH, geofono triassiale da foro

Tempistica della fase di acquisizione dati in situ
Fase esplorativa preliminare: _____ 5 gg lavorativi
Fase esplorativa di approfondimento: _____ 8 gg lavorativi



2- PROPOSTA ECONOMICA

Segue il prospetto dei costi **al netto di I.V.A. (22%)** dello studio geofisico:

<u>Studio elettrico-elettromagnetico finalizzato alla localizzazione e mappatura di preesistenze archeologiche</u>	
-Fase esplorativa preliminare:_____	7,500.00 €
-Fase esplorativa di approfondimento:_____	8,600.00 €

<u>Studio sismico propedeutico al miglioramento in chiave sismica delle caratteristiche di stabilità del campanile della Basilica</u>	
-Fase esplorativa preliminare:_____	2,700.00 €
-Fase esplorativa di approfondimento:_____	7,200.00 €

ONERI A CARICO DELLA COMMITTENZA

- *Permessi ed autorizzazione per accessi alle aree.*
- *Documentazione progettuale con ubicazione delle indagini in formato cartaceo e/o digitale che costituirà l'effettiva base di sovrapposizione dei dati rilevabili e quindi dalla Committenza verificata idonea e corrispondente al reale stato dei luoghi e di progetto.*

STUDI SUCCESSIVI

Lo studio geofisico proposto potrebbe essere parte integrante di uno studio multidisciplinare più generale (si rimanda al paragrafo "premessa") che prenda in considerazione gli aspetti idrogeologici, geomorfologici, geotecnici dell'area, mineralogico-petrografici delle pietre ornamentali presenti nella Basilica e che preveda anche un approfondimento conoscitivo (anche di carattere micro-geofisico) finalizzato ad accrescere il grado di conoscenza oggettiva dello stato di consistenza e di conservazione dei manufatti architettonici, dei materiali coinvolti, delle tecniche costruttive e a fornire indicazioni utili e determinanti per la progettazione e la realizzazione di interventi (anche urgenti) di consolidamento, restauro e ristrutturazione del bene monumentale.



A disposizione per ulteriori eventuali chiarimenti

Pavia, 5 febbraio 2014

Dott. Patrizio Torrese
COORDINATORE SCIENTIFICO DELLO STUDIO GEOFISICO




Tavola 1 - Mappa preliminare di ubicazione delle indagini geofisiche

