

Investigation protocols for onsite assessment of floor and wall components in historical school buildings

Mariella De Fino*

Highlights

Main factors influencing the on-site investigation of historical buildings, in terms of investigation targets and conditions, are identified
Operation methods for acquisition, elaboration and interpretation of radar and thermographic data for traditional floor and wall components are discussed
Experimental results from onsite testing of iron/brick and concrete/brick slabs in school buildings of the early XX century are presented.

Abstract

The paper is going to describe a methodological framework for onsite non-destructive investigation of materials, construction components, residual performances and state of conservation of historical-architectural school buildings. In detail, some operation protocols are proposed and validated as decision-making support tools for radar scanning and thermography of floor and wall components in buildings of the early XX century, in order to achieve reliable and meaningful identification of the actual characteristics and anomalies and, thus, address compatible and low invasive maintenance measures.

Keywords

Historic school buildings, Investigation methods and techniques, Radar scanning, Thermography, Iron/brick and concrete/brick slabs

1. INTRODUCTION

The assessment and control of the school built heritage are crucial topics within the scientific and technical community, at national and international levels. Particularly, in Italy, as well as in most countries in the Mediterranean basin and in the Middle-east regions, school buildings are mainly historic with a great variety of traditional construction solutions. Thus, the on-going programs for structural, energetic and technological retrofitting require methodological guidelines and best practices, in order to address both improvement of performance levels and conservation of architectural values [1] [2] [3] [4] [5].

Within that scenario, onsite non-destructive diagnostic tests (NDTs) play a prominent role. They might enable the acquisition of meaningful and reliable data on the actual behaviour of the building system and sub-systems, without

Mariella De Fino

DICATECh - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica, Politecnico di Bari, Via Orabona 4, Bari, 70125, Italia

* Corresponding author
e-mail: mariella.defino@poliba.it

interfering with the functionality of the places and the stability of the structures. Moreover, they might support the diagnosis of obsolescence and pathologies, particularly when available data on materials and construction techniques are limited. Consequently, they might address the selection and long-term assessment of durability and effectiveness for compatible maintenance and repair measures [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12].

Nevertheless, NDTs should be carried out, according to specific operation protocols, based on preliminary data from historic research and direct survey, in order to identify the investigation targets and conditions and, thus, select representative components, suitable equipment parameters, acquisition layouts, elaboration and restitution routines, as well as correlation modes with complementary experimental and analytical data.

Taking into account the above-mentioned issues, the paper is going to describe a methodological framework for onsite non-destructive diagnostic investigation of materials, construction components, residual performances and state of conservation of historical-architectural school buildings. In detail, some operation protocols are proposed and validated as decision-making support tools for radar scanning and thermography of floor and wall components in buildings of the early XX century. The work is part of a comprehensive study, developed since 2013 under the research agreement between the Municipality of Bari and the Polytechnic of Bari for “Scientific and technical support on preliminary tests and analyses for the seismic protection of school buildings in Bari” (Coordinators: Prof. G. De Tommasi e Prof. F. Fatiguso).

2. METHODOLOGY

The proposed methodology (Figure 1) is based on the assumption that planning (P), application (A) and validation (V) of onsite diagnostic techniques should result from the preliminary qualification (Q) of the building, by integrated analysis of historic records, survey of geometry, materials and construction techniques, as well as thematic mapping of cracking, dampness and decay patterns. Particularly, those data should help identify the investigation targets (Q1) and surrounding conditions (Q2), in order to address compatible methods and tools toward accurate, meaningful and reliable results.

Specifically, the investigation targets (Q1) are related, at the planning level (P), with the selection of representative components (P1), technical input parameters of the equipment (P2) and measurement acquisition layouts (P3). Similarly, the surrounding conditions (Q2) affect the acquisition modes, according to inner building characteristics (P4) and outer environmental and structural factors (P5).

1. INTRODUZIONE

I temi della qualificazione e riqualificazione del patrimonio scolastico sono da tempo al centro del dibattito istituzionale e tecnico a livello nazionale e internazionale. In particolare, in Italia, come in molti Paesi del Bacino del Mediterraneo e del Medio Oriente, dove gli edifici scolastici sono prevalentemente costituiti da fabbricati storici con una varietà straordinaria di soluzioni tecniche, gli attuali orientamenti programmatici per interventi di recupero strutturale, energetico e/o tecnologico impongono una riflessione da parte della comunità scientifica, nell'ottica di indirizzare linee guida metodologiche e pratiche operative per la valutazione, il controllo e il miglioramento dei requisiti prestazionali nel rispetto dei valori architettonici e costruttivi [1] [2] [3] [4] [5].

In tale quadro, i metodi di diagnostica non distruttiva in sito assumono un ruolo centrale, dal momento che consentono di acquisire informazioni significative e attendibili sul comportamento reale dei fabbricati senza interferire con la funzionalità operativa e l'integrità strutturale, di supportare la diagnosi nel caso di limitata disponibilità di dati su materiali, tecniche di realizzazione e manifestazioni di obsolescenza fisiologica e patologica sviluppatesi nel tempo, nonché di indirizzare e controllare nel medio-lungo termine l'efficacia e la durabilità di misure di intervento compatibili e minimamente invasive [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12].

Nondimeno, tali metodi devono essere applicati in modo strutturato, secondo procedure di indagine, che, sulla base della qualificazione preliminare da fonti documentali e da rilievi diretti e in relazione alle specifiche finalità di analisi e condizioni operative in sito, forniscano un supporto decisionale alla individuazione delle aree rappresentative, della strumentazione tecnica, delle procedure di acquisizione, delle modalità di elaborazione e restituzione delle informazioni e dei criteri di interpretazione e correlazione con dati analitici e sperimentali complementari.

Alla luce delle considerazioni esposte, il contributo delinea un percorso metodologico per l'applicazione di tecniche di diagnostica non distruttiva, finalizzate alla qualificazione materico-costruttiva, delle prestazioni tecnologiche e dello stato di conservazione di edifici scolastici a valore storico-architettonico. Nello specifico, vengono proposti e validati specifici protocolli operativi per l'esecuzione di indagini radar e termografiche su edifici a struttura mista, nell'ambito del più ampio percorso di studio e sperimentazione condotto dal 2013 per la Convenzione di Ricerca fra il Comune di Bari e il Dipartimento DICATECh del Politecnico di Bari per “Supporto scientifico e tecnico alle indagini preliminari e sondaggi per antisismicità degli edifici scolastici del Comune di Bari” (Responsabili Scientifici: Prof. G. De Tommasi e Prof. F. Fatiguso).

2. METODOLOGIA

La metodologia proposta (Figura 1) muove dal presupposto che la programmazione (P), applicazione (A) e valutazione (V) di indagini diagnostiche in sito sono il risultato della qualificazione preliminare (Q) della fabbrica, sulla base dell'analisi correlata di fonti storiche, rilievi geometrici e delle caratteristiche materico-costruttive, nonché mappature dei quadri umidi e lesionativi e delle alterazioni superficiali. In particolare, tali informazioni consentono di identificare le finalità di indagine (Q1) e le condizioni al contorno (Q2), rispetto a cui indirizzare

Thus, the above-mentioned planning (P) key-aspects result in specific application (A) and validation (V) procedures, according to the particular diagnostic technique and investigation context.

Nevertheless, in all the cases, the selection of representative components (P1), in terms of typology, number and position (A1), is generally based on the validation goal, which might be the assessment of unknown building characteristics and anomalies by extensive investigation or elsewhere the confirmation of available data from preliminary historic research and direct survey (V1). Similarly, for all the diagnostic techniques, it can be stated that the onsite experimental data should lead to the final diagnosis (D) on the residual performances (D1) and state of conservation (D2) only by aware correlation with further destructive and non-destructive tests, analysis of similar case studies and historical-technical handbooks.

Based on the above-mentioned general framework, the methodology is developed below, at the application and validation levels, for specific techniques – thermography and radar scanning – and domains – stone cavity or solid walls and iron/brick or concrete/brick floors in buildings of the early XX century. Particularly, some results are presented and discussed, based on the experimental investigation on some representative school buildings in Bari (Figure 2 and Figure 3).

le scelte metodologiche e operative, nell'ottica dell'accuratezza, significatività e affidabilità dei risultati.

Nello specifico, l'identificazione delle finalità di indagine (Q1) determina, in fase di programmazione (P), la scelta dei componenti rappresentativi all'interno del fabbricato (P1), delle specifiche tecniche e dei parametri di input della strumentazione (P2) e dello schema di acquisizione delle misure (P3). Analogamente, l'identificazione delle condizioni al contorno (Q2) consente di pianificare le modalità di acquisizione in considerazione delle caratteristiche del componente (P4) e dei fattori esterni (P5). Gli aspetti metodologici della programmazione (P) vengono quindi declinati in procedure operative di applicazione (A) e valutazione (V) che dipendono in modo specifico dal tipo di tecnica diagnostica e dal contesto in cui l'indagine viene condotta.

Resta sostanzialmente comune a tutte le tecniche il criterio di scelta dei componenti rappresentativi all'interno del fabbricato (P1), laddove tipologia, numero e posizione (A1) vengono individuati a seconda che la valutazione delle informazioni diagnostiche miri, mediante indagini estese, alla qualificazione di caratteristiche e anomalie non compiutamente definite in fase di qualificazione preliminare, piuttosto che alla validazione, mediante indagini più limitate e circoscritte, di caratteristiche e anomalie già note sulla base di fonti documentali e osservazioni dirette (V1).

Come pure, resta comune la considerazione metodologica che tutte le informazioni diagnostiche desunte in sito portano alla compiuta diagnosi (D) delle prestazioni residue (D1) e dello stato di conservazione (D2) solo mediante un'attenta correlazione e validazione con dati da prove distruttive e non distruttive

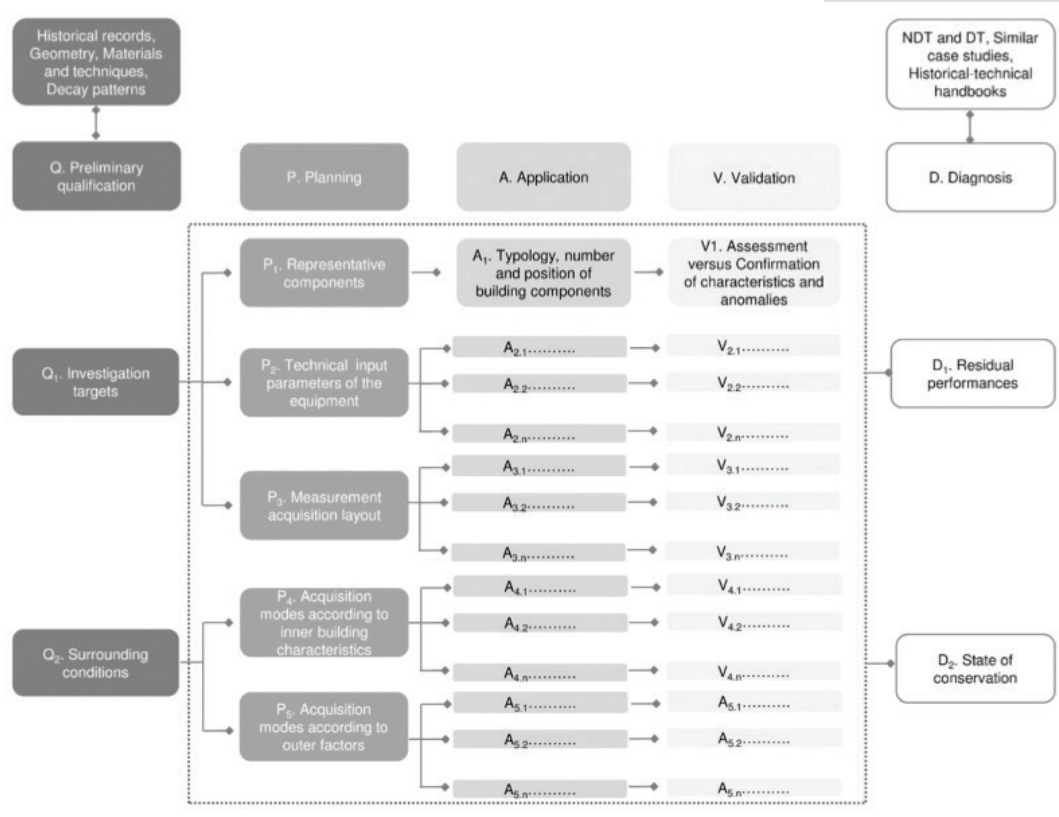


Figure 1. General methodological framework.



Figure 2. Building Schools “Principessa di Piemonte” and “Carlo Del Prete” in Bari.

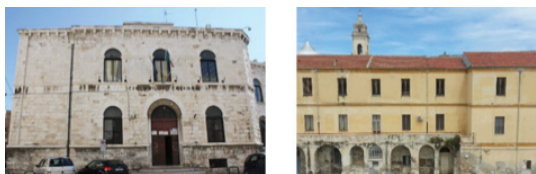


Figure 3. Building Schools “Filippo Corridoni” and “Regina Margherita” in Bari.

3. RESULTS

As far as the thermography is concerned (Figure 4):

- The technical input parameters of the equipment (P2) involve the direct measurement of infrared emissivity and reflected temperature of the surface under investigation (A2). The accurate assessment of those parameters enables the quantitative, rather than qualitative, detection of the infrared emitted radiation and apparent temperature (V2).

For the specific application, the qualitative thermography, which is simpler and faster, satisfactorily enabled the survey of morphology and decay of both floor and wall components, whereas the quantitative thermography would be more suitable for analysing the operation modes of HVAC systems.

The measurement acquisition layout (P3) concerns the relative position between thermocamera and surface (A3) and, thus, the frame angle and extent (V3).

For the case studies, wide-angle images supported the detection of morphology of slabs – number and direction of bearing iron or reinforced concrete beams – and walls – arrangement of stone blocks and mortars and presence of reinforced concrete pillars and beams. Differently, zenial images enabled to survey the dimensions of all the construction elements, knowing the distance between sensor and surface and the view factor of the thermocamera.

The acquisition mode according to the inner building characteristics (P4) refers to two conditions, which make the detection of thermal gradients feasible. The first is the presence of a significant heat flow crossing the component due to the temperature difference between its border surfaces – intrados/extrados for slabs and inner/outer facades for walls. The second is

complementari ovvero da analisi di casi studio simili e manualistica storico-tecnica di riferimento.

Sulla base di tale impostazione generale, di seguito vengono sviluppate le fasi di applicazione e validazione, con riferimento a specifiche tecniche diagnostiche – rilevamenti termografici e scansioni radar – e a specifici contesti operativi – fabbricati a struttura mista con solai in ferro/calcestruzzo armato e murature in pietra/tufo. In particolare, i risultati discussi si basano sull'esperienza maturata nel corso di rilievi strumentali su alcuni edifici scolastici particolarmente rappresentativi, costruiti nella prima metà del '900 a Bari (Figure 2 e 3).

3. RISULTATI

Con riferimento alle indagini termografiche (Figure 4):

- L'individuazione delle specifiche tecniche e dei parametri di input della strumentazione (P2) riguarda principalmente la misura diretta dell'emissività delle superfici e della temperatura riflessa (A2), la cui precisa determinazione consente di conseguire una valutazione quantitativa piuttosto che qualitativa (V2) della radiazione infrarossa emessa e, quindi, della temperatura apparente. Nel caso specifico, la termografia qualitativa, che comporta un minore complessità operativa e una riduzione dei tempi di indagine, è risultata generalmente compatibile con finalità di valutazione della configurazione di elementi costruttivi e/o di quadri patologici dei solai e delle murature, laddove la termografia quantitativa si sarebbe resa necessaria per analisi sui regimi di funzionamento di componenti impiantistiche.
- Lo schema di acquisizione delle misure (P3) attiene essenzialmente alla posizione reciproca fra termocamera e superficie (A3) e, quindi, all'angolazione e all'estensione dell'area inquadrata (V3). In fase di valutazione, riprese d'insieme prospettiche hanno consentito di valutare la tessitura dei solai – numero e direzione degli elementi strutturali in ferro e in calcestruzzo armato – ovvero lo schema costruttivo delle murature – disposizione dei conci in pietra/tufo e presenza di eventuali pilastri/travi in calcestruzzo armato. Diversamente, riprese zenitali di dettaglio hanno permesso di determinare le dimensioni dei diversi elementi inquadrati, nota la distanza fra sensore e superficie, sulla base del

the presence of materials under the investigated surface showing different thermal properties.

The former factor might lead to the employment of infrared lamps in order to increase low thermal exchanges (A5.1) by active thermography, rather than passive thermography (V5.1). In the case studies, the worst conditions occurred in internal walls and floors, where the temperature was almost steady on both the border surfaces, thus requiring artificial heating.

The latter factor might require ruling out some areas where similar materials are expected (V5.2). In the case studies, that happened for continuous concrete slabs or for walls with tuff blocks and cement-based mortar joints that show similar thermal capacity and conductivity.

The acquisition mode according to the outer environmental and structural factors (P5) concerns the need to avoid visible obstacles (A5.3), such as scaffoldings, furniture, false ceilings and thermal obstacles (A5.4), such as heat sources, direct solar radiation, high infrared reflectivity surrounding elements that might interfere with the measurement feasibility either/or reliability. The above-mentioned obstacles were always avoided in the experimental campaign. The following Figure 5 shows some illustrative thermograms with some of floor components, which were detected in the investigated school buildings.

- fattore di vista della termocamera.
- Le modalità di acquisizione in considerazione delle caratteristiche del componente (P4) si riferiscono principalmente a due condizioni necessarie per il rilevamento di gradienti termici significativi: la presenza di scambi termici attraverso il componente per effetto di differenze di temperatura significative fra le superfici di confine – intradosso e estradosso nei solai e prospetti interno ed esterno nelle murature – e presenza di materiali costitutivi con proprietà termiche diverse. In fase di applicazione, il primo aspetto incide sulla scelta di utilizzare riscaldatori a infrarosso per amplificare scambi termici eventualmente modesti (A5.1) e, quindi, sulla possibilità di condurre l'indagine termografica in modalità attiva piuttosto che passiva (V5.1). Nel caso specifico, particolarmente sfavorevole è risultato il caso di solai e murature di partizione interna, laddove la temperatura è sostanzialmente stabile su entrambe le superfici di confine. Il secondo aspetto può comportare la necessità di ritenere non significative e/o non interpretabili le misure su aree in cui non ricorrono differenze apprezzabili nel comportamento termico (V5.2). Tale condizione si è verificata nei casi studio per omogeneità materica – ad es. solai a travetti e blocchi in calcestruzzo piuttosto che solai in calcestruzzo a soletta piena – o per omogeneità termica – ad es. malta di cemento e blocchi in tufo, con valori di capacità termica e conducibilità assimilabili.
- Le modalità di acquisizione in considerazione di fattori esterni (P5) riguardano essenzialmente l'eliminazione di ostacoli fisici (A5.3), quali impalcature, elementi

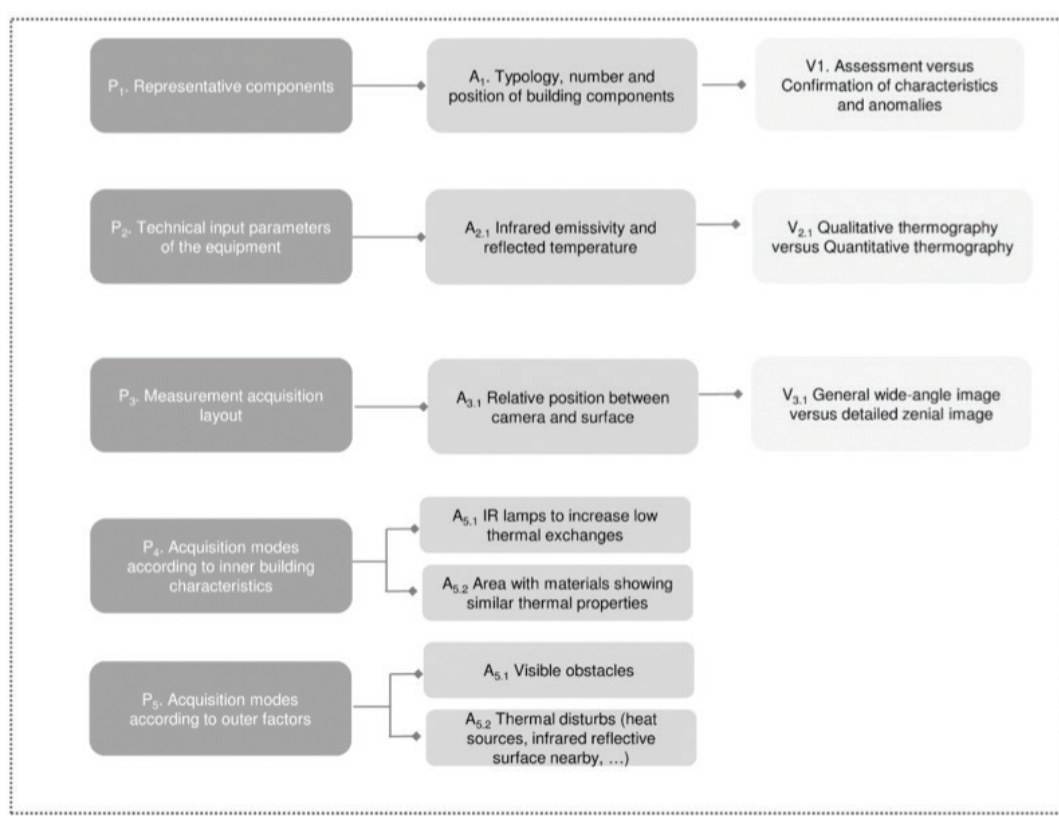


Figure 4. Methodological framework for thermography.

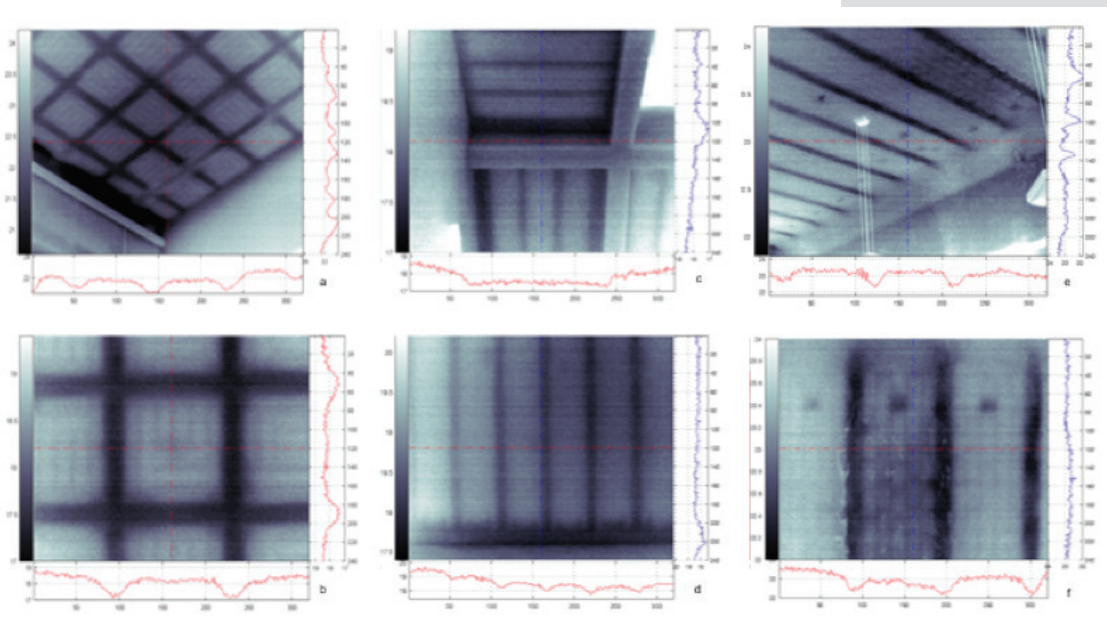


Figure 5. Wide-angle and zenial thermal images of bidirectional reinforced concrete slab (a-b), concrete/brick slab (c-d) and iron/brick slab (e-f).

As far as the radar scanning is concerned (Figure 6):

- The technical input parameters of the equipment (P2) involve the selection of suitable antennas (A2.1), since high-medium frequencies (1GHz – 2 GHz) enable shorter investigation depth and higher geometrical resolution (V2.1) compared with medium-low frequencies (600 MHz – 400 MHz).

In the case studies, all the slabs, about 25cm – 30 cm thick, were thoroughly investigated by high frequency antennas (2 GHz) with satisfactory accuracy in detecting even small inclusions, such as the lower transversal metallic bars in concrete beams. The same experimental set up was appropriate for solid walls with comparable thickness. On the contrary, solid and cavity walls, up to 80 cm – 100 cm thick, required medium frequency antennas (600 MHz), which guaranteed good signal propagation along the component, reduced multiple small reflections due to the numerous interfaces between stone blocks and mortar joints and, thus, emphasized the detection of relevant anomalies and discontinuities.

- The measurement acquisition layout (P3) concerns number, direction, length and spacing of the radar profiles (A3.1) that, in turn, affect the investigation output. Particularly, single profiles might be displayed as 2D radargrams, whereas a grid of profiles might enable 3D tomography (V3.1). In the case studies, the slabs were investigated by two perpendicular profiles, which clearly showed the stratigraphy. Differently, the walls required a set of longitudinal and transversal profiles, in order to achieve redundant data, elaborate a three-dimensional model by interpolation and, thus, visualize

di arredo, controsoffittature, che interferiscono con la scena inquadrata e la schermatura di ostacoli termici (A5.4), quali fonti di calore, radiazione solare diretta, elementi circostanti a forte riflessività termica, che possono compromettere l'affidabilità delle misure inducendo sulle superfici di indagine riflessi nello spettro dell'infrarosso, erroneamente attribuibili alla temperatura apparente del componente. Compatibilmente con le condizioni logistiche, tutti gli elementi di disturbo sono stati evitati ovvero eliminati.

A titolo esemplificativo, la Figura 5 riporta le principali tipologie di solaio rilevate sui casi studio tramite indagine termografica. Con riferimento alle indagini radar (Figura 6):

- L'individuazione delle specifiche tecniche e dei parametri di input della strumentazione (P2) riguarda principalmente la scelta della frequenza dell'antenna utilizzata (A2.1), laddove frequenze medio-alte (1GHz – 2 GHz) rispetto a frequenze medio-basse (600MHz – 400MHz) consentono profondità di indagine più contenute e risoluzione geometrica più elevata (V2.1). Nei casi di studio in esame, i solai, con dimensioni dell'ordine dei 25-30cm, sono stati indagati in tutto il loro spessore con antenne ad alta frequenza (2GHz), conseguendo la maggiore accuratezza possibile nel rilevamento di interfacce anche di modesta entità, quali le barre di armatura nei travetti in calcestruzzo armato. Tali parametri operativi sono stati applicati anche per murature a corpo unico di spessori analoghi. Diversamente, le murature, tanto a corpo unico quanto a corpo unico, con dimensioni dell'ordine di 80-100cm, sono state indagate con antenne a media frequenza (600 MHz), che, da un lato, consentono una propagazione del segnale fino al fronte opposto rispetto a quello di trasmissione e, dall'altro, riducono gli effetti di riflessione diffusa legati alle numerose interfacce blocchi/comenti presenti costitutivamente

some planes parallel to the investigation surface. Consequently, in the latter application, the activities, although more complex, in terms of time and resources, resulted in a clearer detection of the inner stratigraphy, especially for cavity walls.

- The acquisition mode according to the inner building characteristics (P4) refers to the interface solutions between surface and antenna, equipped by an odometry wheel (A4.1). The above-mentioned issue is particularly relevant for the walls, whenever their surfaces are rough and irregular. Differently, the slabs can be easily investigated on the extrados, where the floor tiles are generally flat. Thus, the walls should require rigid/ flexible boards/ mats to make smoother the connection of the antenna. Moreover, on mats/boards, the layout of the profiles could be preliminarily marked, in order to speed up the acquisition process.
- The acquisition mode according to the outer environmental and structural factors (P5) concerns some critical conditions that should be avoided. That is the case of areas with high moisture that might cause great signal attenuation either/or metallic elements that might induce high signal reflection (A5.2). In the case studies, those issues were found in the roof slabs showing meteoric infiltration and in the walls at the ground floors with evidence of rising dampness.

nell'apparecchiatura muraria, che possono rendere meno leggibile il radargramma rispetto ad anomalie e discontinuità macroscopiche.

- *Lo schema di acquisizione delle misure (P3) dipende direttamente da numero, direzione, lunghezza e spaziatura dei profili radar (A3.1), a loro volta incidenti sulle modalità di restituzione sotto forma di radargrammi bidimensionali, nel caso di profili singoli, ovvero di tomografie tridimensionali, nel caso di reticoli di profili (V3.1). Nel caso dei solai, i profili singoli, nelle due direzioni ortogonali, hanno consentito la compiuta individuazione della stratigrafia, laddove, per le murature, si è reso necessario ricorrere a reticoli di profili. A tal proposito, occorre sottolineare che la tomografia tridimensionale consente, come è noto, di indagare la riflessione delle onde elettromagnetiche su piani, che risultano, rispetto alla superficie di scorrimento dell'antenna, non solo perpendicolari, come nelle scansioni bidimensionali, ma anche paralleli. Come tale, a fronte di un maggiore impiego di tempo e risorse, consente di ottenere informazioni più articolate e diffuse nello spazio, particolarmente utile per la morfologia complessa delle murature, specie se a corpo multiplo.*
- *Le modalità di acquisizione in considerazione delle caratteristiche del componente (P4) riguardano essenzialmente le soluzioni di interfaccia fra l'antenna, dotata di ruota odometrica, e la superficie (A4.1). Tale aspetto, più che nel caso dei solai, indagati da estradosso sui piani di calpestio pavimentati, incide per le murature, specie se caratterizzate da superfici ruvide e irregolari. In tal caso, è opportuno*

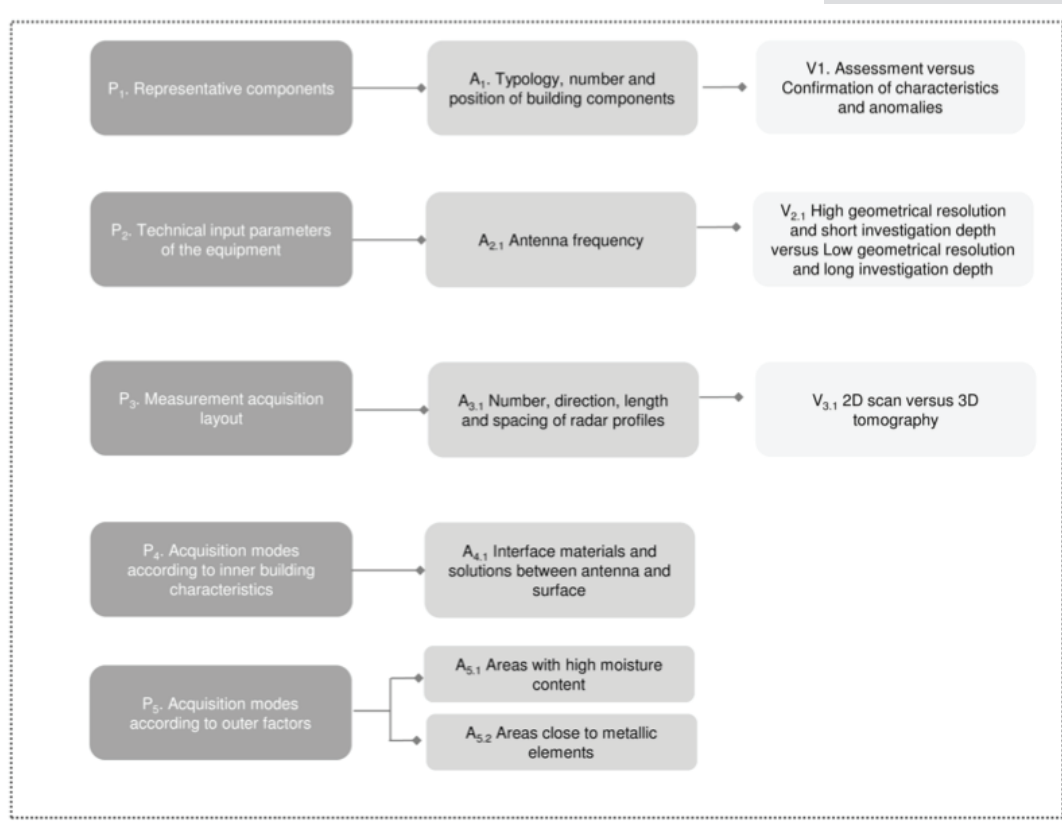


Figure 6. Methodological framework for radar scanning.

The following Figure 7 shows some illustrative radargrams with some of the floor components, which were detected in the investigated school buildings.

ricorrere a materassini in plastica o fogli di cartone semi-rigidi per consentire l'agevole scorrimento dell'antenna e, in particolare, della

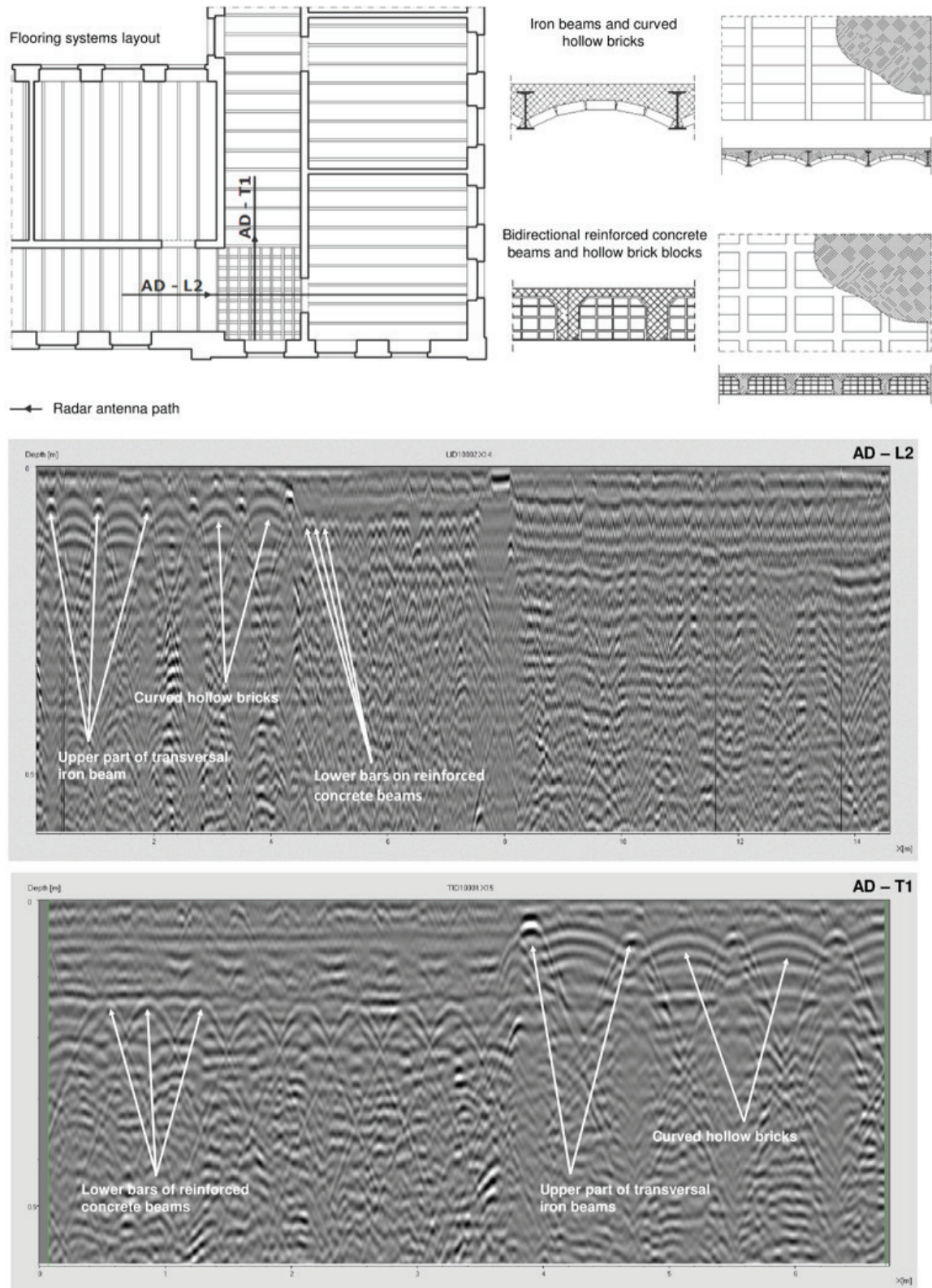


Figure 7. Radargrams of bidirectional reinforced concrete slab with hollow brick clocks and iron slab with curved hollow bricks.

4. CONCLUSIONS

The case studies allowed developing the planning, application and validation of radar scanning and thermography for buildings of the early XX century, in terms of assessment and control of methods and tools that might influence the accuracy, meaningfulness and reliability of the investigation results. Nevertheless, the proposed procedures are flexible, in order to enable further improvement, in terms of technologies and experimental fields. The final goal is to set a comprehensive decision-making support tool for all the stakeholders who will be asked to implement the ongoing retrofitting programs for the architectural-historical school buildings.

5. REFERENCES

- [1] Tadeu S. [et al.], Energy retrofit of historic buildings: Environmental assessment of cost-optimal solutions, *Journal of Building Engineering*, Vol. 4, 167-176, 2015.
- [2] De Santoli L. [et al.], Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome, *Energy and Buildings*, Vol. 68-A, 196-202, 2014.
- [3] Lourenço P., Pinheiro M. D., Heitor T., From indicators to strategies: Key Performance Strategies for sustainable energy use in Portuguese school buildings, *Energy and Buildings*, Volume 85, December 2014, Pages 212-224, 2014.
- [4] Yilmaz S., Tama Y.S., Bilgin H., Seismic performance evaluation of unreinforced masonry school buildings in Turkey, *Journal of Vibration and Control*, Vol. 19, N. 16, 2421-2433, 2013.
- [5] Azarbakht A., Seismic rehabilitation of traditional unreinforced masonry buildings in Iran, in M. Papadrakakis, M. Fragiadakis, V. Plevris, *COMPdyn 2011 - III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Corfu, Grecia, 26-28 Maggio 2011.
- [6] Kilic G., Using advanced NDT for historic buildings: Towards an integrated multidisciplinary health assessment strategy', *Journal of Cultural Heritage*, Vol.16, N. 4, 526-535, 2014.
- [7] Kordatos E.Z. [et al.], Infrared thermographic inspection of murals and characterization of degradation in historic monuments, *Construction and Building Materials*, Vol. 48, 1261-1265, 2013.
- [8] Fatiguso F. [et al.], Investigation and conservation of artificial stone facades of the early XX century: a case study, *Construction and Building Materials*, Vol. 41, 26-36, 2013.
- [9] De Fino M. [et al.], Nondestructive investigation for historic documentation and construction qualification of monumental buildings: the case of S. Gregory Church in Bari, South Italy, in *Proceedings of the 13th International Conference on Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture*, New Forest, UK , 25 - 27 Giugno, 2013, WIT Press, Southampton, 99-110, 2013.
- [10] Bosiljkov V. [et al.], An integrated diagnostic approach for the assessment of historic masonry structures, *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 11, N. 3, 239-249, 2010.
- [11] Pérez-Gracia V. [et al.], GPR survey to study the restoration of a Roman monument", *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 9, N. 1, 89-96, 2008.
- [12] García F. [et al.], GPR technique as a tool for cultural heritage restoration: San Miguel de los Reyes Hieronymite Monastery, 16th century (Valencia, Spain)", *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 8, N. 1, 87-92, 2007.

ruota odometrica collegata che misura il percorso spaziale della sonda. Peraltro, tali sistemi possono essere utili, nel caso delle murature da indagare con reticoli di profili, per tracciare preventivamente le griglie di acquisizione.

- Le modalità di acquisizione in considerazione di fattori esterni (P5) riguardano essenzialmente l'esclusione di situazioni in cui la propagazione del segnale nel componente è compromessa, fra cui arre ad alto contenuto di umidità (A5.1) per l'elevata attenuazione dell'impulso elettromagnetico e aree in cui siano presenti in modo diffuso elementi metallici che risultano, invece, fortemente riflettenti (A5.2). Nei casi di studio, tali problematiche sono state riscontrate sui solai di copertura interessati da umidità di infiltrazione e nelle murature di piano terra in presenza di umidità di risalita. A titolo esemplificativo, la Figura 7 riporta le principali tipologie di solaio rilevate sui casi studio tramite indagine radar.

4. CONCLUSIONI

L'applicazione ai casi studio ha permesso di sviluppare le fasi di programmazione, applicazione e validazione di indagini radar e termografiche per fabbricati storici a struttura mista, consentendo di riscontrare e verificare gli aspetti metodologici e operativi che maggiormente incidono sull'accuratezza, significatività e affidabilità delle indagini sperimentali in sito. Nondimeno, le procedure delineate sono concepite con caratteri di flessibilità, tali da essere suscettibili di ulteriori integrazioni e verifiche, attraverso l'ampliamento delle tecnologie e degli ambiti di riferimento. Tanto nell'ottica di ricomporre un quadro articolato e composito di supporto decisionale agli operatori, che, in attuazione degli attuali orientamenti programmatici, saranno chiamati a intervenire già dalla fase di diagnosi al processo di recupero e conservazione del patrimonio storico-architettonico ad uso scolastico.