

Indagini GPR per la definizione della struttura di impalcati nella sede dell'Opificio delle Pietre Dure in via degli Alfani a Firenze

Massimo Coli
massimo.coli@unifi.it

Dipartimento di Scienze della Terra (DST),
Università degli Studi di Firenze

pagina a fronte

Fig. 1
Firenze, Opificio delle
Pietre Dure, sede di via
degli Alfani.
Vista aerea della
corte interna (foto S.
Girardeau).

Abstract

As part of a general Framework Agreement for Collaboration between the Opificio and DST, pursuant to Article 15 of Law 241/1990, a program of studies and research was developed preparatory to the seismic assessment of the Opificio headquarters at Via degli Alfani 78 in Florence. Following the knowledge process defined by the 2011 MIBACT Guidelines, NDT surveys were conducted to define the structure and materials of the walls and floors. Specifically, for the latter, numerous georadar surveys were performed with various instruments, which led to the identification of the stratigraphy and typology of the existing floors. On this basis, a reference schedule was created, which was then used to map the floors of the various rooms for their seismic assessment.

Key-words

Georadar, Floor assessment, Diagnosis, Conservation, NDT.

Introduzione

La tematica della valutazione del patrimonio edilizio esistente pone numerose riflessioni in caso di approccio al percorso conoscitivo di edifici storici che spesso ospitano opere di pregio artistico o sono interessati da estesi apparati decorativi pittorici o plastici. Una valutazione attenta deve affrontare un percorso di indagine che consenta la definizione dell'attuale sistema strutturale resistente, delle modifiche subite finora e dei danni avuti nel corso della sua vita fino alla definizione delle tipologie murarie e la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali. L'attuale quadro normativo italiano¹ pone l'accento sulla definizione di un percorso della conoscenza basato sul rilievo geometrico e strutturale, la ricostruzione dell'evoluzione storica della fabbrica fino alla definizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali.

In numerosi contributi la problematica del percorso della conoscenza è stata affrontata da diversi punti di vista ponendo l'accento su aspetti differenti in funzione del singolo caso; in particolare, le Linee Guida (DPCM 9/2/2011) prevedono indagini di tipo distruttivo e non distruttivo o debolmente distruttivo, pertanto l'approccio allo studio degli

¹ D.Lgs. 42/2004 - Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137. Gazzetta Ufficiale n.45 del 24-2-2004 - Supplemento Ordinario n. 28. DPCM 9/2/2011 - Decreto Presidenza Consiglio Ministri "Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni". Gazzetta Ufficiale GU Serie Generale n.47 del 26/02/2011 Zecca, Supplemento Ordinario n. 54. NTC 2018. Decreto del Ministro delle Infrastrutture 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 42 del 20 febbraio 2018, Supplemento Ordinario n. 8, 342 pp. C-MIT 7/2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Circolare n. 7 del 21/01/2019, Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.35 del 11/02/2019 - Supplemento Ordinario n. 5.



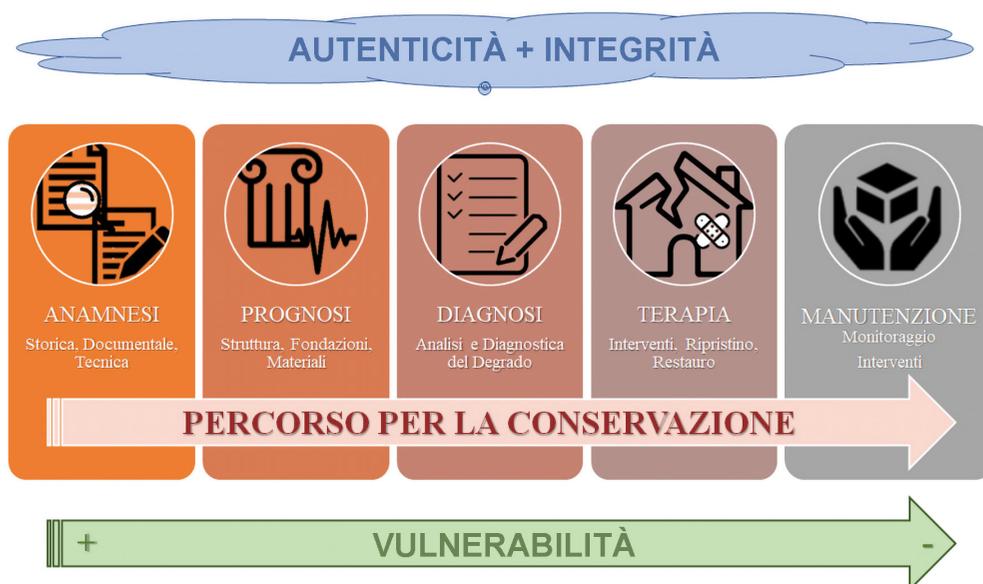


Fig. 2
Esemplificazione del percorso della conoscenza in un contesto di rispetto dei principi di Autenticità e Integrità e con il fine di diminuire la vulnerabilità (da Coli et al. 2022).

edifici storici, viste le peculiarità e la fragilità, è da affrontare caso per caso ma secondo un flusso sistematico di azioni finalizzate alla conoscenza (Figura 2).

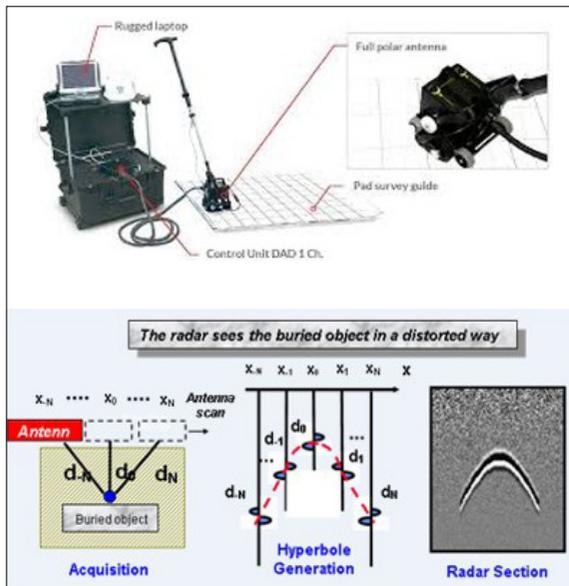
Le Linee Guida dedicano un intero capitolo (Punto 6.1) alla definizione del percorso della conoscenza del manufatto, per il quale forniscono un vademecum relativo alle fasi da affrontare per l'acquisizione di tutte le conoscenze preliminari che consentono la messa a punto di un modello affidabile per le successive verifiche numeriche, con particolare riguardo alla definizione della conoscenza sull'assetto strutturale dell'edificio ed alla definizione della consistenza materiche sulle murature e degli impalcati.

In riferimento alla sede dell'Opificio in via degli Alfani 78 a Firenze, nell'ambito di un generale Accordo Quadro di collaborazione tra Opificio e DST, ex Art.15 L. 241/1990, è stato sviluppato un programma di studi e ricerche propedeutici alla verifica sismica dell'edificio, in cui particolare attenzione è stata posta nella definizione della struttura degli impalcati in quanto l'edificio è adibito ad uffici pubblici e museo.

Il fronte su via Alfani dell'edificio è nato come convento nel XVII secolo, quindi nel XIX secolo è stato ampliato con l'ala retrostante e negli anni 1967-1974 è stato oggetto di profonda trasformazione, con ulteriori interventi negli anni 1990 e 2000; in mancanza di adeguata documentazione tecnica la ricostruzione storica e della tipologia e modalità degli interventi è stata lunga e complessa, ed ha richiesto una lunga ed approfondita fase di indagini conoscitive svolte secondo le indicazioni del Punto 6.1.1 delle LG MI-BACT 2011 con metodologie NDT (Georadar, soniche, termografiche) e LDT (DAC-Test, endoscopiche, locali stonacature).

Le indagini sono state mirate alla definizione di tipologia, assetto, apparecchiatura e stato di conservazione delle murature ed alla definizione della struttura degli impalcati. La definizione della struttura degli impalcati assume particolare importanza in quanto si tratta di un edificio pubblico/museo con accesso al pubblico e funzioni amministrative.

Le indagini Georadar sono state le più diffuse ed hanno riguardato tutte le pareti ed i solai, dando ottimi riscontri conoscitivi, in particolare riguardo agli impalcati.



Le indagini Georadar

Le indagini Georadar (GPR Ground Probing Radar) sono comunemente utilizzate per indagare oggetti del sottosuolo, contatti litologici, faglie e fratture nella massa rocciosa e per definire unità di suolo e il livello della falda freatica; il GPR applicato anche per indagare il calcestruzzo in ponti e gallerie e per la durabilità del legante; solo di recente, il GPR è stato introdotto per indagare la struttura e l'assemblaggio della muratura².

Il GPR utilizza il tempo di viaggio bidirezionale tra un input elettromagnetico ad alta frequenza nella gamma radar 100 MHz-100 GHz e il suo ritorno; l'input radar viaggia nel materiale a una velocità principalmente correlata alla sua conduttività magnetica e permeabilità. Il contatto tra materiali con diverse proprietà elettromagnetiche retrodiffonde parzialmente il segnale all'antenna. L'acquisizione GPR viene solitamente eseguita muovendo l'antenna lungo un rilievo lineare e il risultato è un profilo 2D del segnale elettromagnetico retrodiffuso dalle caratteristiche interne del materiale esaminato in funzione del tempo di percorrenza. Quest'ultimo può essere convertito in profondità, fornendo così la struttura geometrica 2D del mezzo. Il grado di penetrazione del segnale nel materiale è una funzione delle proprietà del materiale e della frequenza del segnale: più bassa è la frequenza, maggiore è la penetrazione ma minori sono i dettagli dell'indagine perché sono una funzione della lunghezza d'onda. La conoscenza della velocità dell'onda nel mezzo indagato o quella del suo spessore è di grande aiuto per un'analisi corretta (Figura 3).

Nell'ambito dei rilievi alla sede dell'Opificio delle Pietre Dure in via Alfani 78 a Firenze, i rilievi georadar sono stati eseguiti con le antenne C-thrue a 2GHz e RIS ONE a 400 MHz (Figura 4), fornite nell'ambito del Progetto Next Generation UE dal Partner di Progetto IDS Georadar S.p.A., part of Hexagon, che ha attiva già da anni una collaborazione scientifica con il DST.

Particolare attenzione è stata dedicata allo studio degli orizzontamenti e alla restituzione delle specifiche stratigrafie.

Il corpo di fabbrica principale in origine presentava esclusivamente sistemi voltati o lignei, ma oggi è caratterizzato da una alta varietà di tipologie di strutture orizzontali dovuti agli

Fig. 3

In alto: antenna e sistema di acquisizione Georadar; in basso: principio della riflessione dell'onda georadar e del rilevamento di un corpo secondo l'effetto doppler (elaborazione M. Coli).

Fig. 4

In alto: antenna C thrue; a in basso: antenna RIS ONE; entrambe di IDS Georadar S.p.A., part of Hexagon (elaborazione IDS).

² Sul tema si rimanda alla bibliografia a fine contributo.

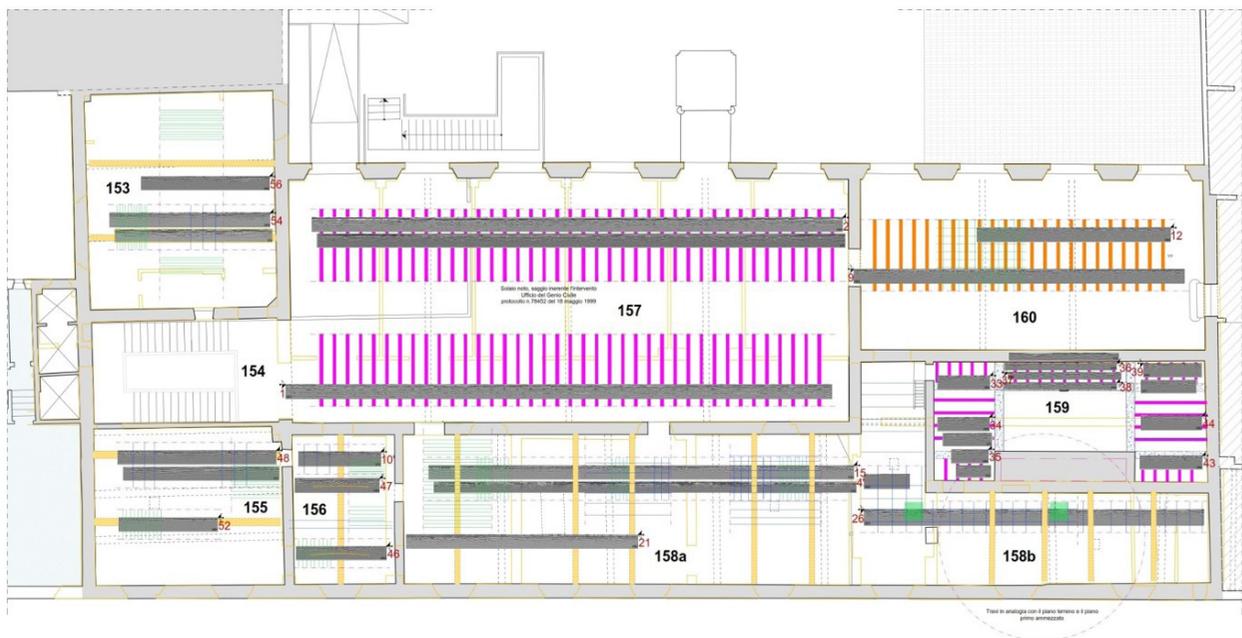
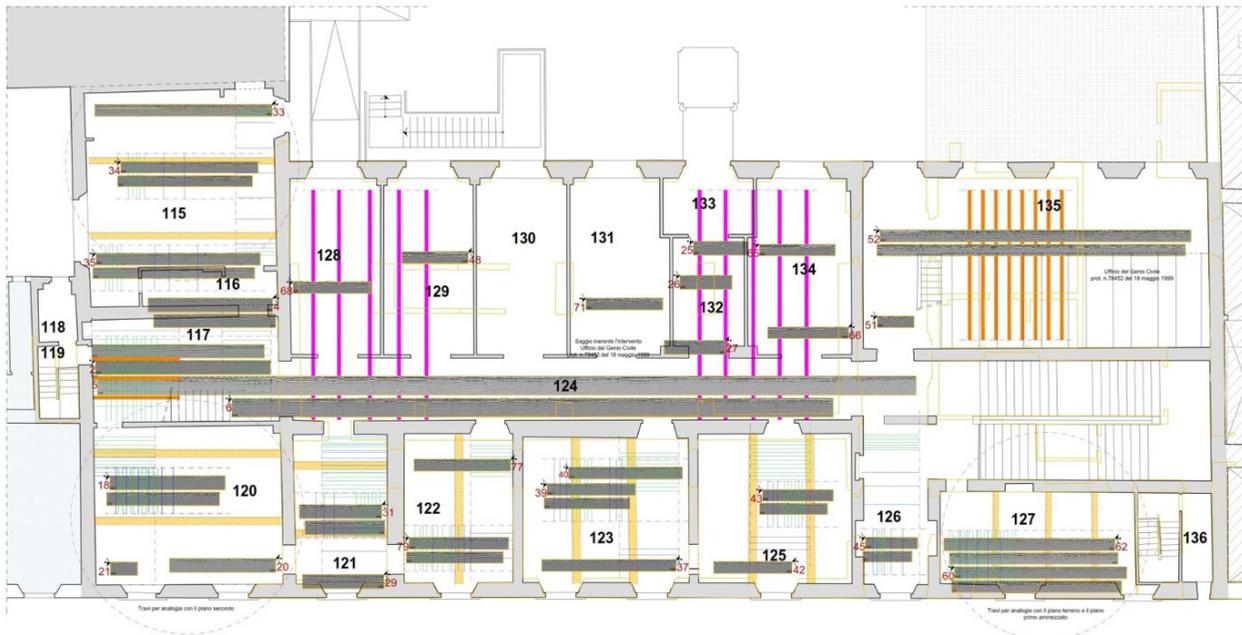
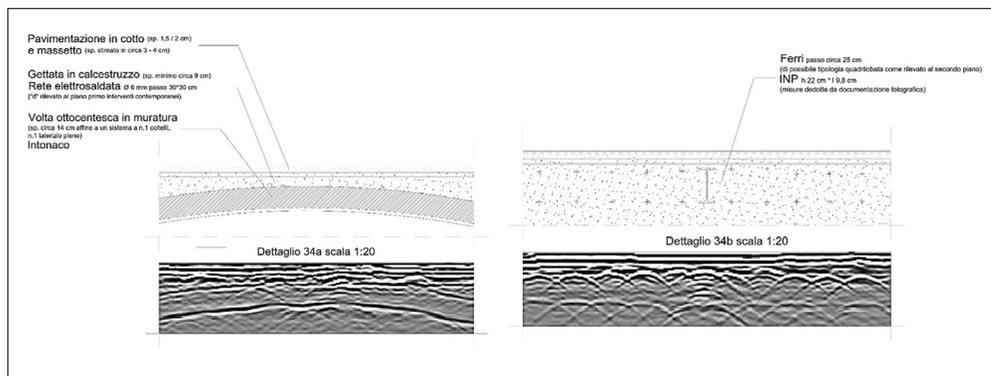


Fig. 5
 Schema delle indagini georadar sui solai dei vari piani stanza per stanza (elaborazione B. Paoletti).
 a) Indagini georadar piano primo
 b) Indagini georadar piano secondo

Fig. 6
 Esempi di interpretazione stratigrafica della struttura degli impalcati presenti (elaborazione B. Paoletti).



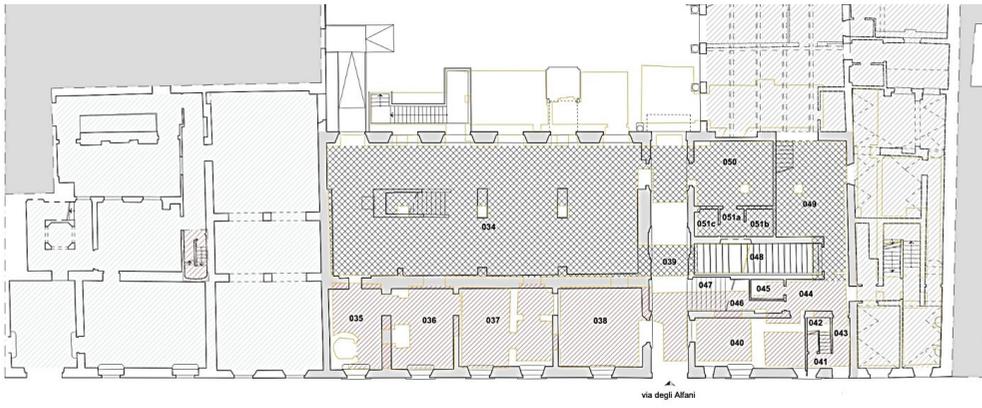
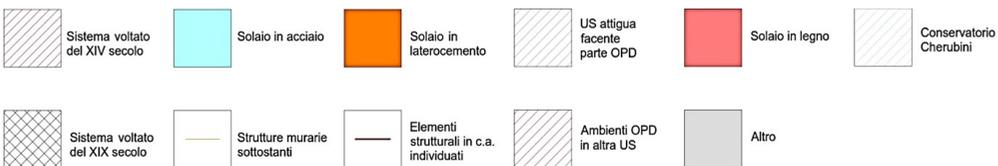
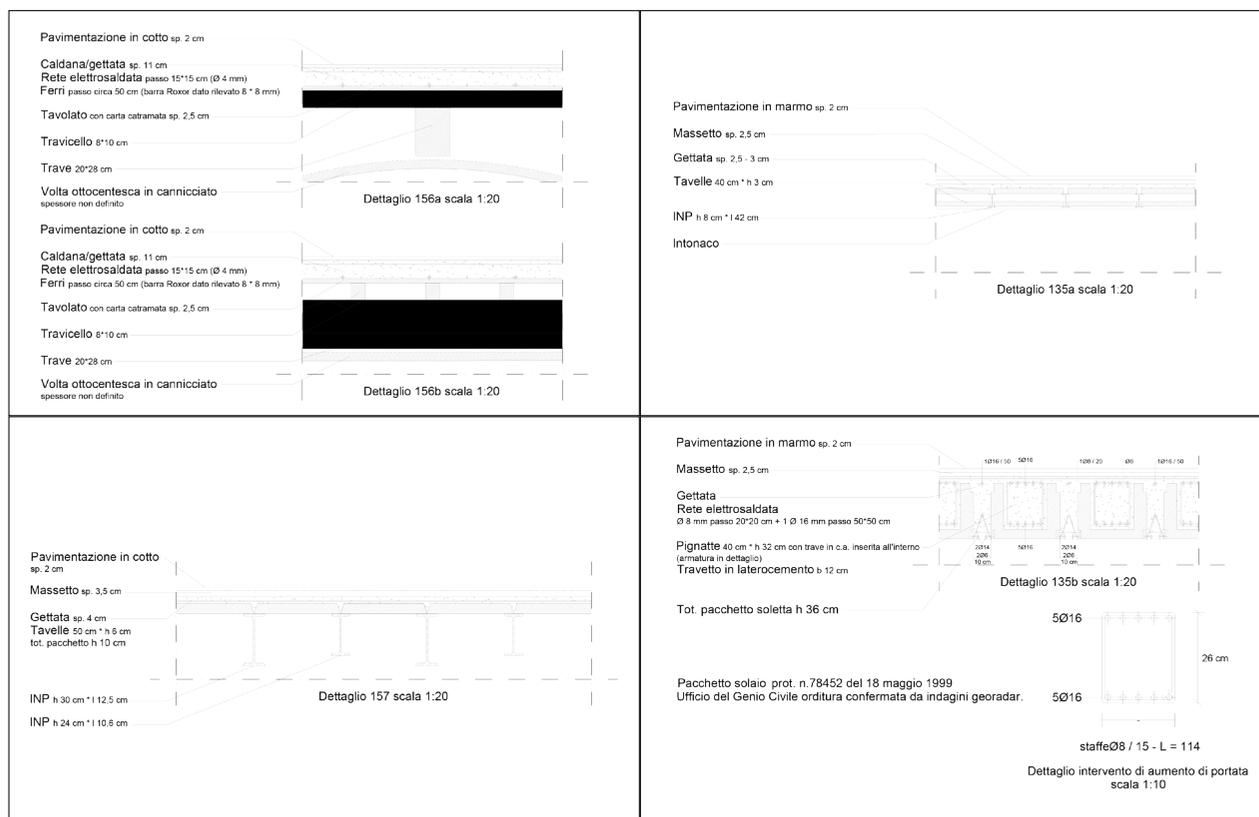


Fig. 7
 Attribuzione dei vari solai per
 i vari piani (elaborazione B.
 Paoletti).
 a) Piano terreno
 b) Piano primo
 c) Piano secondo
 d) Legenda





³ Si ringraziano i colleghi e collaboratori che negli anni hanno reso possibile questa ricerca e la sua positiva conclusione: Prof. Paola Vanucchi, Responsabile del progetto; Prof. Emanuele Marchetti, Responsabile rilievi Georadar, sonici e termografici; Dr. Ph.D. Barbara Paoletti, Coordinamento Operativo, analisi e redazione; Dr. Ph.D. Tessa Donigaglia, Dr. Ph.D. Giacomo Belli, Dr. Ph.D. Duccio Gheri, Dr. Giacomo Risaliti, Dr. Jacopo Nesi, Dr. Agnese Gasparotti, Dr. Alessia Francesca Napoli, supporto operativo (gli Sherpa! - mai troppo ringraziati...). Si ringrazia anche l'Ufficio Tecnico dell'OPD pienamente coinvolto negli anni nella ricerca e nelle varie scelte operative, ed infine il personale tutto dell'Opificio per la pazienza e collaborazione prestata durante tutto il periodo di indagini, nonostante i disagi subiti.

interventi del XX secolo, dei quali questi non sempre è risultata reperibile la documentazione, ed ove reperita risulta spesso lacunosa e non specifica rispetto agli aspetti richiesti dalla vigente normativa. Pertanto, le estese indagini georadar sugli impalcati hanno mirato a colmare queste lacune

Sulla base di indagini archivistiche, georadar, saggi e perforazioni in sito, per ogni ambiente è stata ricostruita la specifica stratigrafia dei vari solai di interpiano.

Per ogni stanza i solai sono stati indagati con strisciate trasversali e longitudinali così da cogliere al meglio l'orditura degli impalcati (Figura 5).

Risultati

L'attenta analisi critica dei vari radargrammi (Figura 6), connessa alle scarse notizie disponibili per i vari orizzontamenti, ha portato a definire i dettagli stratigrafici dei vari impalcati, e da questi le varie tipologie di impalcati presenti (Tab.1), che sono confluite in un abaco, poi utilizzato per attribuire ogni solaio ad una determinata tipologia (Figure 7-8)³.

Sistemi voltati quattrocenteschi (piano terra, lato via degli Alfani)
Sistemi voltati ottocenteschi con cappa armata del 1967 (piano terra, lato cortile)
Solai lignei ottocenteschi interessati da interventi di consolidamento risalenti al 1967-1974 (piani primo e secondo, lato via degli Alfani)
Solai in acciaio (profilati INP) risalenti al 1967 - 1974 (piani primo e secondo, lato cortile)
Solaio in laterocemento risalente al 1967-1974 con intervento di incremento di portata del 1999 - 2000 (piano, lato cortile)
Solaio a putrelle in acciaio risalente al 1967-1974 (piano, lato cortile)
Solaio in laterocemento risalente al 1967-1974 (piano secondo, lato cortile)
Solaio ligneo di copertura ottocentesco interessato da manutenzioni nel corso del Novecento e presumibilmente fra il 1967 e il 1974 (copertura, lato via degli Alfani)
Solaio ligneo di copertura ottocentesco interessato dal rifacimento del pacchetto fra il 1967 e il 1974 con mantenimento delle originali capriate lignee e realizzazione del cordolo in c.a. (copertura, lato cortile)
Solaio ligneo di copertura ottocentesco interessato da manutenzioni presumibilmente fra il 1967 e il 1974 con mantenimento delle originali capriate lignee (copertura, lato cortile)
Lucernario su scalone monumentale in c.a. realizzato presumibilmente fra il 1967 e il 1974 (copertura, lato via degli Alfani)

pagina a fronte

Fig. 8
Esempi delle tipologie di impalcati riconosciuti ed usati (elaborazione B. Paoletti).

in questa pagina

Tab. 1
Tipologie di impalcati riconosciuti (elaborazione B. Paoletti).

Bibliografia

COLI M., PAPESCHI P., BOSCAGLI F., INNOCENTI L., AGOSTINI B. 2018, *GPR investigation on the masonry of the Brunelleschi's Cupola, Florence (Italy)*, «Giornale delle prove non distruttive, Monitoraggio, Diagnostica», n. 38/1, pp. 52-57, ISSN 1721-7075.

COLLINS M.E. 1992, *Soil Taxonomy: A Useful Guide for the Application of Ground Penetrating Radar*, in Hanninen P., Autio S. (Eds.), *Proceedings of Fourth International Conference on Ground Penetrating Radar*, 8-13 June 1992, Rovaniemi, Finland, pp. 125-132.

MAIERHOFER C., LEIPOLD S., SCHAURICH D., BINDA L., SAISI A. 1998, *Determination of the Moisture Distribution in the Outside*

Walls of S. Maria Rossa Using Radar, in *Proceedings of 7th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Kansas, USA, 27-30 May 1998, pp. 509-514.

FERNANDO E. 1992, *Highway Speed Pavement Thickness Surveys Using Radar*, Final report prepared for the Federal Highway Administration, Texas Transportation Institute, College Station, USA.

PIERACCINI M., FRATINI M., PARRINI F., MACALUSO G., ATZENI C. 2004, *High-Speed CW Step-Frequency Coherent Radar for Dynamic Monitoring of Civil Engineering Structures*, «Electron Letters», n. 40, pp. 907-908.

COLI M., DONIGAGLIA T., PAPESCHI P., BOSCAGLI F. 2018, *GPR Investigation for Historical Masonry: Case Histories from Florence (Italy) Cultural Heritage Monumental Buildings*, in *3rd International Conference on Techniques, Measurements & Materials in Art & Archaeology*, Jerusalem, Israel, 9-12 December 2018.

ANNAN A.P., WALLER W.M., STRANGWAY D.W., ROSSITER J.R., REDMAN J.D., WATTS R.D. 1975, *The Electromagnetic Response of a Low-Loss, 2-Layer, Dielectric Earth for Horizontal Electric Dipole Excitation*, «Geophysics», n. 40, pp. 285-298.