

A large purple square graphic with a white border. Inside the square, the text "RICerca" is written in a white serif font, followed by a horizontal line, and then "REStauro" is written in the same font below the line.

RICerca
REStauro

RICerca/REStauro

coordinamento di Donatella Fiorani

SEZIONE 2A

Conoscenza dell'edificio:
metodo e contenuti

a cura di Alberto Grimoldi

RICerca/REStauRO

Coordinamento di Donatella Fiorani

Curatele:

Sezione 1a: Stefano Francesco Musso
Sezione 1b: Maria Adriana Giusti
Sezione 1c: Donatella Fiorani
Sezione 2a: Alberto Grimoldi
Sezione 2b: Maurizio De Vita
Sezione 3a: Stefano Della Torre
Sezione 3b: Aldo Aveta
Sezione 4: Renata Prescia
Sezione 5: Carolina Di Biase
Sezione 6: Fabio Mariano, Maria Piera Sette, Eugenio Vassallo

Comitato Scientifico:

Consiglio Direttivo 2013-2016 della Società Italiana per il Restauro dell'Architettura (SIRA)
Donatella Fiorani, Presidente
Alberto Grimoldi, Vicepresidente
Aldo Aveta
Maurizio De Vita
Giacomo Martines
Federica Ottoni
Elisabetta Pallottino
Renata Prescia
Emanuele Romeo

Redazione: Marta Acierno, Adalgisa Donatelli, Maria Grazia Ercolino

Elaborazione grafica dell'immagine in copertina: Silvia Cutarelli

© Società Italiana per il Restauro dell'Architettura (SIRA)

Il presente lavoro è liberamente accessibile, può essere consultato e riprodotto su supporto cartaceo o elettronico con la riserva che l'uso sia strettamente personale, sia scientifico che didattico, escludendo qualsiasi uso di tipo commerciale.

eISBN 978-88-7140-764-7

Roma 2017, Edizioni Quasar di S. Tognon srl
via Ajaccio 43, I-00198 Roma
tel. 0685358444, fax. 0685833591
www.edizioniquasar.it – e-mail: qn@edizioniquasar.it

Indice

Alberto Grimoldi <i>Introduzione</i>	377
Rita Vecchiattini <i>Percorsi di crinale</i>	380
Giulio Mirabella Roberti <i>Diagnosi dei dissesti e conoscenza costruttiva dell'edificio: una dialettica produttiva</i>	390
Giuliana Cardani <i>Il rilievo e il monitoraggio del panorama fessurativo negli edifici storici in muratura come sistema di pianificazione degli interventi di consolidamento</i>	398
Paola Condoleo <i>Il ruolo del rilievo strutturale per la conoscenza e la sicurezza delle costruzioni storiche</i>	409
Federica Ottoni <i>L'empirismo e (o è?) la soluzione dell'errore</i>	420
Nora Lombardini <i>La trattatistica del Settecento e dell'Ottocento. 'Attualizzazione' dei dati e verifica della loro compatibilità con i nuovi criteri e i metodi di verifica strutturale e di progetto di conservazione</i>	429
Marco Pretelli, Kristian Fabbri <i>Architettura e 'historic indoor microclimate' (HIM). Un contributo per la conservazione dell'architettura storica</i>	437
Fabio Mariano, Andrea A. Giuliano, Fabio Marcelli, Leonardo Petetta <i>Restauro e conservazione dell'architettura del Novecento: l'esperienza dell'edilizia italiana tra gli anni Venti e Sessanta. Piani conoscitivi, strumenti operativi e sviluppi didattici</i>	448
Roberta Maria Dal Mas <i>L'apporto delle nuove tecnologie di rilievo nel restauro</i>	459
Giuseppe Alberto Centauro, Andrea Bacci <i>Approccio conoscitivo e metodologie di lettura delle strutture architettoniche medioevali. Le indagini metrologiche per il Castello dell'Imperatore di Prato</i>	469
Alberto Grimoldi <i>Storia della costruzione, storia materiale del costruito, tutela e conservazione del patrimonio architettonico</i>	481

Roberta Maria Dal Mas

L'apporto delle nuove tecnologie di rilievo nel restauro

Parole chiave: nuove tecnologie, restauro, rilievo, analisi muraria, degrado

L'utilizzo di tecnologie informatiche nel rilevamento degli edifici storici assume un'importanza sempre maggiore, soprattutto nella fase propedeutica all'intervento di restauro.

La visualizzazione e l'elaborazione di dati tridimensionali acquisiti con il laser scanner 3D (nelle *point clouds*) e con lo scanner a luce strutturata (nelle *mesh*), forniscono un significativo contributo alla conoscenza delle testimonianze costruttive del passato per ciò che riguarda le caratteristiche geometriche e dimensionali, le strutture murarie e i materiali con il relativo degrado. Nel rilievo di un antico organismo architettonico le tecniche computerizzate possono essere impiegate contestualmente ai metodi manuali per ottenere una migliore resa grafica dell'opera, anche di quelle parti la cui comprensione dipende principalmente dall'osservazione ravvicinata: l'analisi delle murature e lo studio delle tipologie di deterioramento delle superfici.

Recenti esperienze in collaborazione con ENEA (Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) hanno messo in evidenza che, per riprodurre con precisione il monumento, è indispensabile non affidarsi solo a procedimenti meccanici gestiti dai software, ma attuare una sintesi tra i contenuti della rappresentazione digitale e quelli derivanti dal tradizionale contatto con l'architettura (sopralluogo, esame diretto, rilevamento a mano); senza trascurare gli apporti della ricerca storica e d'archivio, per impostare il progetto conservativo. Le nuvole di punti sono delle 'schematizzazioni virtuali' dell'edificio, dalle quali l'architetto deve estrapolare tra milioni di informazioni, quelle più idonee per restituire in disegni in scala la realtà del manufatto nella sua spazialità e nelle sue specificità strutturali e costruttive. Le *mesh* sono immagini tridimensionali ad alta definizione ricavate dalla digitalizzazione delle deformazioni di pattern di luce bianca proiettati sulle aree in assenza d'illuminazione, nelle quali è possibile vedere, nel colore e nella conformazione reale, le componenti materiche e le forme di degrado¹. Nella scelta del sistema di misura da adottare e nella successiva interpretazione dei dati la preparazione culturale del restauratore è decisiva. Infatti, nelle operazioni di scansione si verifica una netta distinzione tra la fase di prelevamento delle dimensioni affidata alla strumentazione e quella della selezione critica dei punti demandata al professionista, capace di leggere l'architettura e i suoi linguaggi e di graficizzarla con una gerarchia codificata dei tratti e degli spessori, frutto di una ragionata 'pulitura' per eliminare tutto ciò che ne confonderebbe la comprensione. Il riconoscimento del valore memorativo e artistico del monumento nei suoi aspetti funzionali, strutturali e materiali, costituisce lo strumento metodologico per guidare gli specialisti del settore nel rilievo e, successivamente, per scegliere tra la moltitudine di indicazioni metriche acquisite con le procedure informatiche, quelle necessarie per garantire un coerente rappresentazione dell'edificio.

Nel campo dei beni culturali, inoltre, l'impiego di tecnologie innovative di rilevamento deve necessariamente prevedere una ricaduta operativa. L'insieme dei punti visualizzati nelle nuvole e nelle *mesh* in tre dimensioni deve essere convertito in elaborati bidimensionali in formato *dwg*, facilmente stampabili e utilizzabili in cantiere. In questo contesto, dove spesso si lavora in emergenza, anche la pratica più recente deve tradursi in una 'buona pratica' per adattarsi preventivamente, e in tempi brevi, alle esigenze della salvaguardia dell'opera architettonica e alle problematiche del suo deterioramento, con protocolli standard per il rilievo e per la diagnostica di cui si sente l'esigenza. Il restauro, disciplina

¹ Per una panoramica sull'uso dei nuovi mezzi tecnologici nel restauro, non solo per il rilievo: DAL MAS 2016a, pp. 23-32; DAL MAS 2016b, pp. 35-36.

articolata, aperta e trasversale, esige soprattutto oggi un approccio multidisciplinare, avvalendosi dei progressi scientifici raggiunti in altri ambiti di ricerca e sfruttando i nuovi mezzi di acquisizione massiva; ma restando saldamente aderente all'oggetto del suo intervento: l'architettura con le sue modalità esecutive e le sue qualità storiche e figurative². Una realtà che non deve essere trascurata, dal momento che le scienze informatiche si evolvono continuamente, mentre il monumento con i suoi significati deve essere conservato, qualunque sia stato il metodo adoperato per il suo rilevamento. In definitiva vuol dire intraprendere azioni per la tutela degli edifici antichi servendosi delle tecniche più avanzate, senza rinnegare i risultati conseguiti con prassi più tradizionali consolidate nel tempo e senza sottovalutare le enormi potenzialità comunicative del mondo virtuale per la diffusione del sapere via web.

La campagna di rilievo del complesso scolastico Angelo Mai a Roma, in collaborazione con l'ENEA-ICT³, è stata realizzata con l'applicazione di diverse modalità di misura. Partendo dai disegni redatti dal comune di Roma nel 2012⁴, rispetto allo 0,00 di riferimento definito nel vano scala sulla corte, con il laser scanner HDS300 Leica Geosystem sono state calcolate le dimensioni dei due livelli interrati e di quello terreno (piano di sezione rispettivamente a -5,21 m, -2,16 m e +1,90 m) e dei prospetti sul cortile per collegare le diverse quote⁵. In questa fase la risoluzione del laser è stata di 2x2 cm con il prelievo di 4000 punti al secondo. In post-elaborazione nella nuvola finale, ai piani di sezione orizzontali e verticali è stato attribuito lo spessore di 2 cm, con vista dell'area scansionata in modalità *half space* della zona al di sotto della sezione e in *view slice* in planimetria sul livello stabilito dall'utente (*Fig. 1*)⁶. Sovrapponendo nella pianta a -2,16 m, alla stessa scala, le misurazioni del 2012 e quelle desunte dalla *point cloud* importate in Autocad (*Fig. 2*), si osserva che i dati derivanti da differenti sistemi di rilevamento non coincidono. Ma se questi sono messi in relazione fra loro, consentono di ottenere elaborati architettonici in scala 1:50 molto dettagliati, indispensabili per redigere il progetto conservativo, anche con l'ausilio di fotografie e di successive integrazioni con strumenti tradizionali. Quest'ultimo passaggio, inevitabile nonostante l'affidabilità delle tecnologie digitali oggi disponibili, non deve essere tralasciato dal momento che le nuvole, per il loro carattere puntiforme, riproducono la realtà architettonica in maniera discontinua (*Figg. 3-5*). Sul modello tridimensionale finale, risultante dalle 25 stazioni di registrazione del laser, sono state poi predisposte ulteriori operazioni di rilievo a una scala più piccola con lo scanner a luce strutturata Breuckmann SmartScan 3D HE per alcuni paramenti murari, considerati rilevanti per la ricostruzione del processo di trasformazione della fabbrica.

Sull'analisi e sulla datazione delle murature, con i relativi caratteri costruttivi, studi ormai pluriennali, che interpretano il dato murario in rapporto all'intero organismo edilizio con le sue peculiarità distributive, strutturali e decorative, hanno sottolineato la necessità del contatto visivo e tattile *in situ* tramite il rilevamento diretto. Questo, riportato al computer sicuramente con un margine di errore,

2 Su questi temi: CARONARA 2016, pp. 11-13.

3 L'Unità ICT (*Information and Communication Technology*) dell'ENEA, con l'ingegnere S. Migliori, il dottor A. Perozzello, la collaborazione di D. Abate, G. Furini, S. Pierattini e in sinergia con la Facoltà di Architettura 'Sapienza' Università di Roma e l'architetto T. Di Lìsio, ha messo a disposizione il laser scanner HDS300 Leica Geosystem, lo scanner a luce strutturata Breuckmann SmartScan 3D HE, le competenze dei suoi operatori, i software e gli applicativi nell'infrastruttura ENEA-GRID per gestire e lavorare i dati. Le misurazioni sono state effettuate dal 15 al 18 luglio 2013. Sul ruolo dell'ENEA per la salvaguardia dei monumenti: MIGLIORI, PIERATTINI 2016, p. 17; FANOU, POGGI 2016, pp. 19-21. Sugli strumenti e sui programmi usati: DAL MAS 2016a, p. 24, nota 5; p. 25, nota 8; p. 27, nota 19; DIAMANTI 2016, p. 41; p. 45, fig. 4; pp. 64-65, figg. 25-26.

4 Gli elaborati del Dipartimento Sviluppo Infrastrutture e Manutenzione Urbana del Comune di Roma restituiti in *dwg* in scala 1:50 da un rilievo manuale, datati 21 giugno 2012, raffigurano le piante di tutti i livelli, due sezioni e altrettante sezioni-prospetto su via degli Zingari e sul cortile.

5 Nei sotterranei il laser, con campo di visibilità sull'asse verticale di 270° e con un cono d'ombra nella parte residua sottostante, è stato posizionato in base alla grandezza degli ambienti: in quelli più piccoli a pavimento, in quelli più grandi su treppiede, come al piano terra e nella corte. I *target* (punti fissi necessari per unire le scansioni parziali), sono stati collocati per essere facilmente leggibili dallo strumento e ancorati per evitare spostamenti accidentali a causa degli agenti atmosferici e del personale non autorizzato nella fase di cantiere.

6 Sul ruolo fondamentale dell'architetto per la definizione delle sezioni e per la trasposizione in Autocad ai fini del progetto di restauro: DAL MAS 2016a, pp. 25-26.

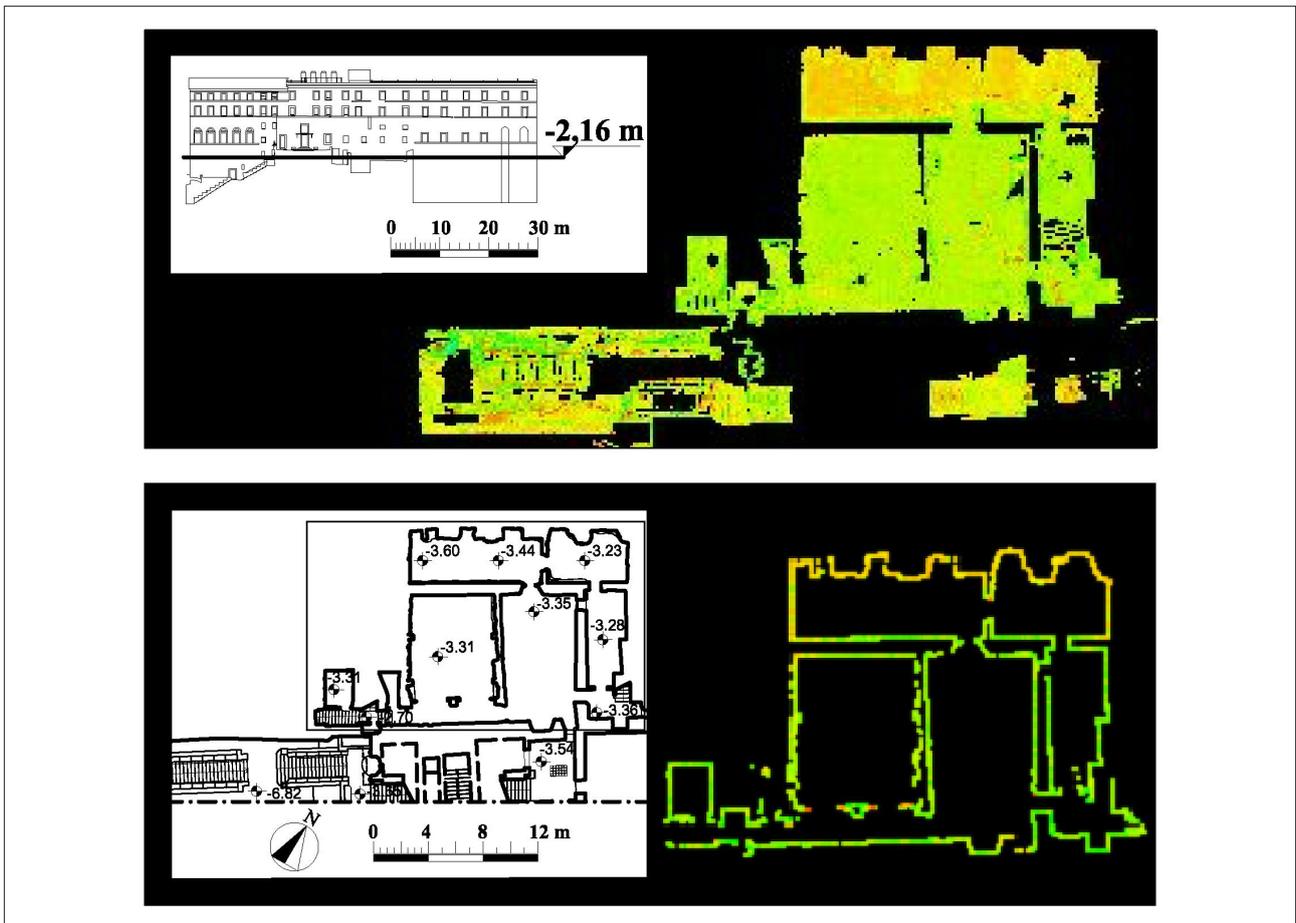


Fig. 1. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, vista del modello tridimensionale: pianta a quota - 2,16 m in *half space* (a) e in *view slice* (b) (scansione ENEA con laser scanner HDS3000 Leica Geosistem).



Fig. 2. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, pianta a quota - 2,16 m con la sovrapposizione del rilievo del 2012 (in blu) e dei dati desunti dalla nuvola di punti del 2013 (a colori *half space*; in nero *view slice* con piano di sezione 2 cm) (scansione ENEA con laser scanner HDS3000 Leica Geosistem).

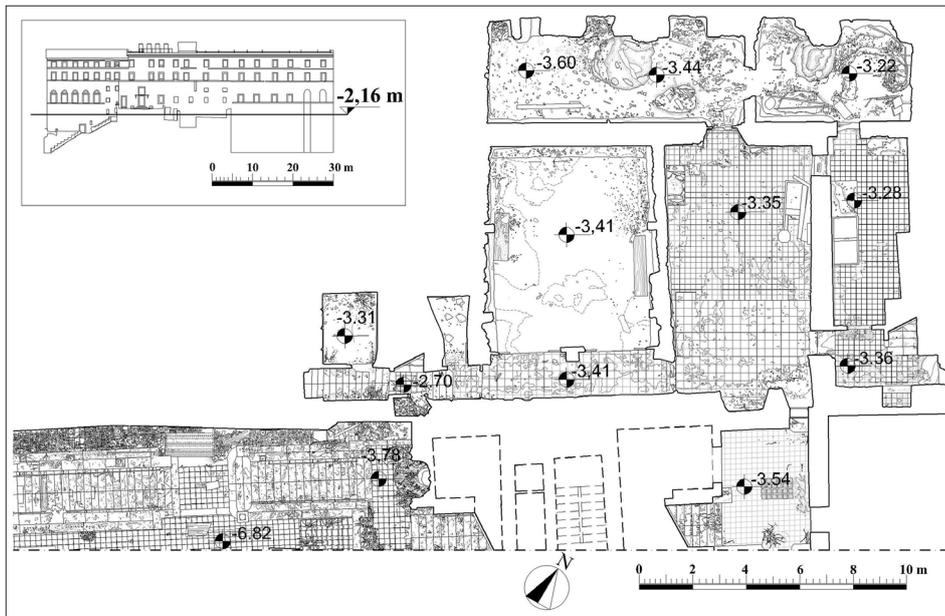


Fig. 3. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, rilievo architettonico: pianta a quota -2,16 m, con le pavimentazioni, originale scala 1:50 (elaborazione grafica T. Di Lisio).

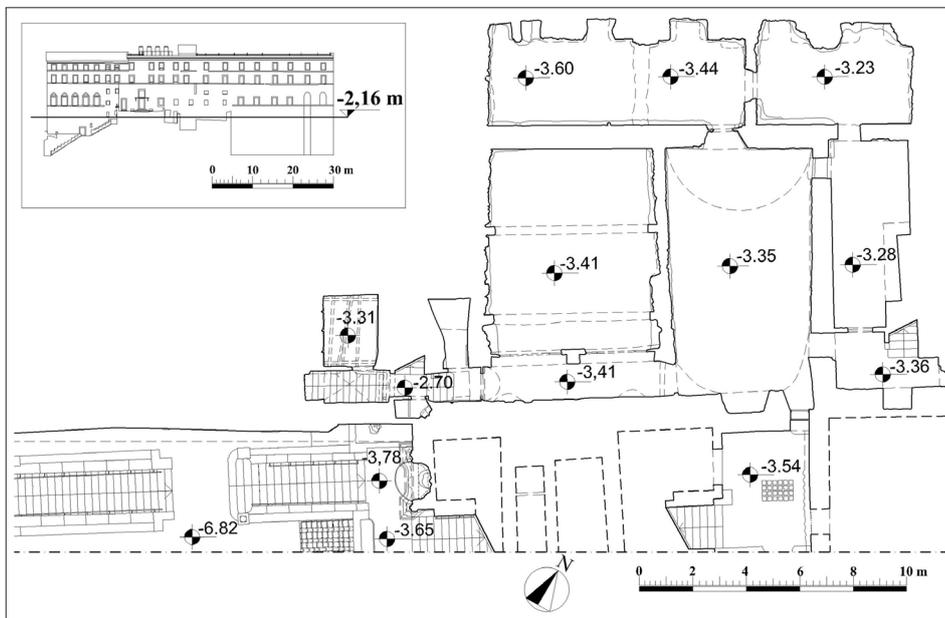


Fig. 4. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, rilievo architettonico: pianta a quota - 2,16 m, con la proiezione delle coperture, originale scala 1:50 (elaborazione grafica T. Di Lisio).

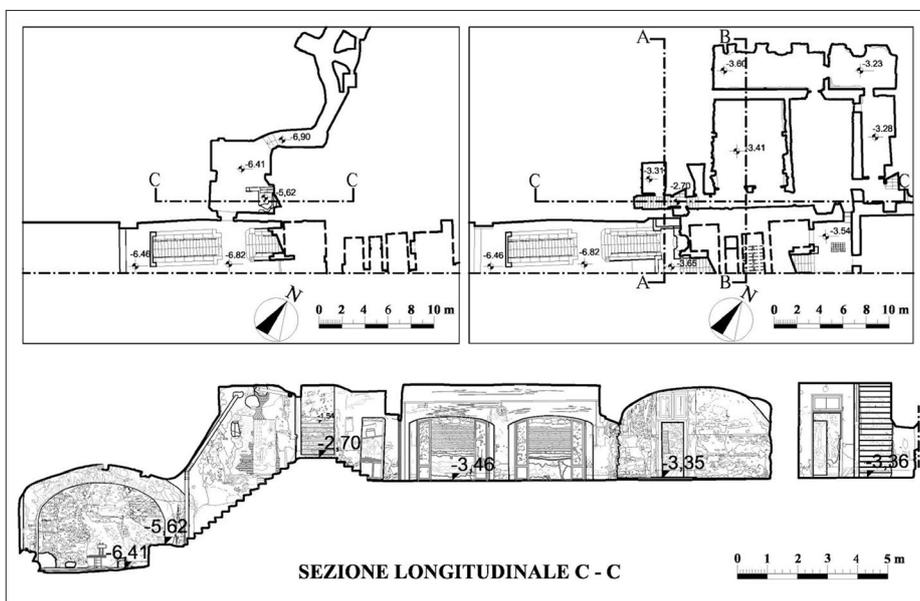


Fig. 5. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, rilievo architettonico: sezione longitudinale C-C, originale scala 1:50 (elaborazione grafica T. Di Lisio).

garantisce, però, la ‘rappresentazione ragionata’ delle superfici architettoniche, espressione, con le notizie tratte dalle fonti bibliografiche e documentarie, di una “cultura materiale” e soprattutto “d’una storia [...] ‘integrale’, rispondente insieme alle necessità d’accurata e puntuale conoscenza materica dei manufatti ed a quelle di ripercorrimto e giudizio storico-critico, in termini d’immagine e di figuratività architettonica”⁷. In questo settore interessanti apporti possono provenire dalle tecnologie informatiche per la definizione di mirate azioni progettuali.

Nella scuola Angelo Mai, negli ambienti a livello -2,16 m, già interessati dalla precedente scansione laser 3D, sono stati selezionati alcuni tipi di muro contraddistinti da una complessa stratificazione, da un’originale disposizione dell’apparecchio, dall’uso di materiali di reimpiego e dall’avanzato stato di deterioramento. Ma anche facilmente accessibili per effettuare studi a distanza ravvicinata e misurazioni a mano (Figg 6-7).

Con riferimento a quanto già sperimentato per altri due paramenti alla medesima quota, e aggiornando la nota scheda per l’indagine delle murature, è stato misurato il campione di una terza cortina nelle seguenti modalità e nel medesimo rapporto in scala all’interno del riquadro di 1x1 m⁸: rilievo manuale trasformato in *dwg*, acquisizioni con lo scanner a luce strutturata Breuckmann SmartScan 3D HE in *file png*⁹ e con laser scanner 3D HDS300 Leica Geosystem con precisione superiore (2x2 mm) e salvataggio in *jpeg*. Mettendo in relazione la grande quantità di dati delle diverse restituzioni del muro,



Fig. 6. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, particolare della pianta a quota - 2,16 m con l’indicazione delle stazioni dello scanner a luce strutturata Breuckmann SmartScan 3D HE, originale scala 1:50 (scansione ENEA ed elaborazione grafica T. Di Lisio).

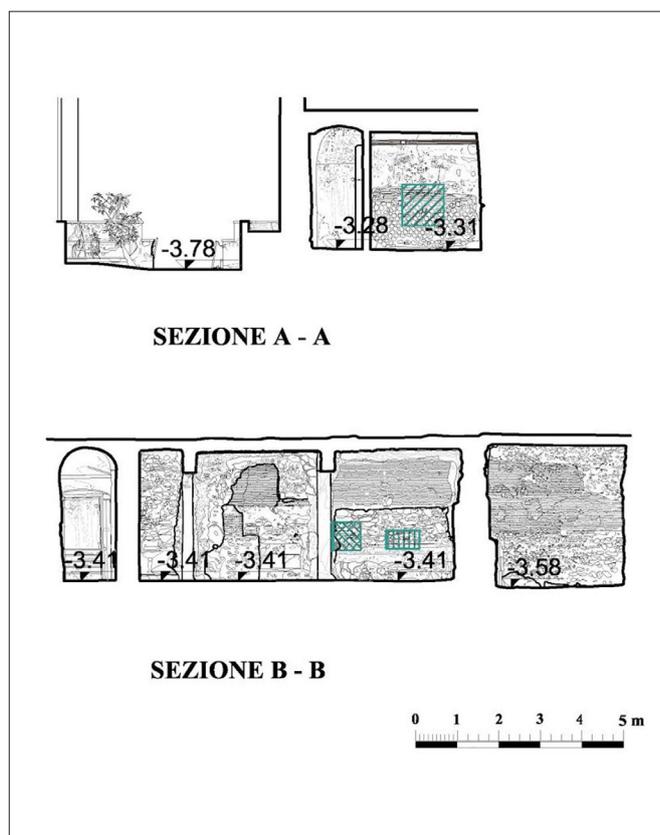


Fig. 7. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, rilievo architettonico: sezione trasversale B-B con le stazioni dello scanner a luce strutturata Breuckmann SmartScan 3D HE, originale scala 1:50 (scansione ENEA ed elaborazione grafica T. Di Lisio).

7 CARBONARA 1996, p. 1. Per una panoramica sull’argomento si faccia riferimento alla collana *Storia della tecnica edilizia e restauro dei monumenti*, diretta da G. Carbonara e agli scritti di F. Doglioni.

8 Si veda: DAL MAS 2016a, p. 27; pp. 30-31, figg. 1-2.

9 Le nuvole di punti ricavate dallo scanner a luce strutturata in *post-processing* con il *software* Optocat sono state unite, pulite dalle ombre e dalle parti sfocate e ricostruite in *mesh* salvate in *png*. Le *mesh* possono essere visionate sullo schermo in scala di grigi, con il colore percepito dalle fotocamere e con quello diversificato in base alla distanza da un punto precedentemente stabilito, che sottolinea le irregolarità della superficie.

è stato accertato che questo (probabilmente il nucleo interno di un paramento in tufelli), è stato eseguito in pezzame di tufo e calcare con elementi di riuso, disposto irregolarmente e legato con malta di calce, con sabbia e polvere di mattone. Nella parte inferiore è stato individuato un tratto di pavimento lapideo su uno strato di allettamento (a quota -2,71 m) (Fig. 8). Specificando, il procedimento diretto, con i vantaggi della facilità e dell'economicità di esecuzione, nel doppio passaggio della presa delle misure sul campo (anche se con un numero limitato di punti) e la seguente trasposizione al computer, ha facilitato il riconoscimento dei materiali, della compattezza e della resistenza degli impasti e degli intonaci, delle coloriture e dello stato di conservazione, che è già una pre-diagnosi per il progetto di restauro. Con lo scanner a luce strutturata, nel locale al buio, è stato possibile acquisire moltissime informazioni da vicino (da 0 a un 1,5 m), con la riproduzione tridimensionale della muratura ad alta definizione (fino a 28 μm) e con l'opportunità di verificare sul posto l'esattezza delle parti misurate contemporaneamente alla costruzione della *mesh* sul video¹⁰. Questa, salvata in *png* da Meshlab e trasferita in Autocad, ha assicurato una resa grafica accurata dal punto di vista dimensionale, morfologico, materico e cromatico delle superfici, anche in presenza di una non regolare disposizione degli elementi, dei pezzi di recupero e dei pochi brani d'intonaco. Inoltre, è risultato agevole osservare e calcolare, 'zoomando' al computer all'occorrenza, la forma, lo spessore e la lavorazione dei blocchi lapidei; la granulometria, il colore e l'altezza dei giunti di malta; la consistenza dell'intonaco ecc. Tutto ciò, però, con tempi di registrazione lunghi e con la necessità di disporre dei software e delle competenze tecniche per gestire *files* pesanti in post-produzione, con costi elevati¹¹. Con il laser 3D, infine, fino a 300 m, sono stati effettuati diversi *scanning*, stabilendo di volta in volta la quantità di punti da visualizzare nelle nuvole, variando la risoluzione a seconda del tipo di muro e del livello di dettaglio che si voleva raggiungere (massimo 1x1 mm), con il controllo dell'errore finale rms (*root mean square*) e il vantaggio di sovrapporre scansioni successive per monitorare i fenomeni di deterioramento. Con questo strumento le proprietà dei materiali sono registrate in *intensity map*, che ne determina la riflettanza (la capacità di assorbire diversamente il raggio luminoso). Questo laser, però, a causa della bassa precisione della camera integrata, richiede completamente manuali per assicurare una circostanziata rappresentazione grafica; un calibrato posizionamento; una corretta collocazione dei *target* per limitare gli effetti dei coni d'ombra e una lunga lavorazione per la creare il modello definitivo, sul quale tracciare i piani di sezione per il disegno in *dwg*¹².

Considerando l'attuale diffusione dei dispositivi digitali nel campo della conservazione, si può concludere che il laser 3D può essere proficuamente utilizzato nel rilievo generale dell'edificio, con la possibilità di estrarre in tempi differenti ulteriori informazioni archiviabili e consultabili in siti web dedicati. Per i paramenti murari, però, è opportuno predisporre preventivamente delle acquisizioni a definizione più alta (fino a 1x1 mm), da realizzarsi contestualmente a cui associare, per porzioni

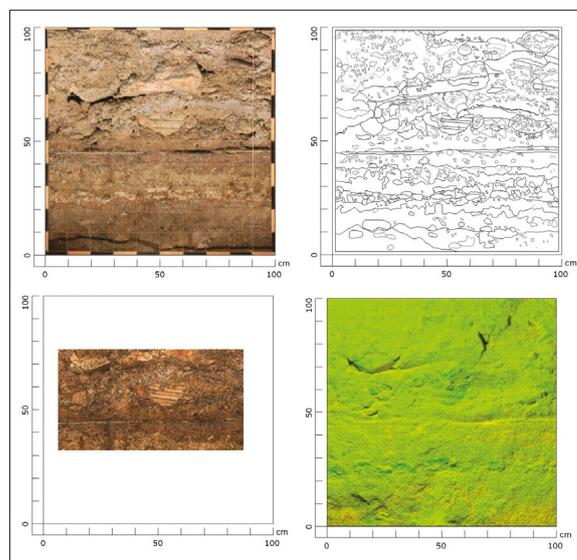


Fig. 8. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, analisi della muratura 2 del III-IV secolo d.C. mediante rilievo manuale, scanner a luce strutturata Breuckmann SmartScan 3D HE e laser scanner HDS3000 Leica Geosistem (elaborazione grafica di T. Di Lisio).

10 In questo caso, nell'arco di 2 ore e 15 minuti sono stati registrati 9.606.678 punti e sono state definite 19.203.396 *mesh* con Meshlab.

11 Prima dell'attivazione è essenziale calibrare lo strumento a luce strutturata, definirne la precisione, il tipo di lenti, la profondità del campo (FOV) e la distanza dall'area da scansionare. È importante anche controllare il corretto funzionamento in presenza di elevati tassi di umidità, verificare la presenza della rete elettrica, studiare l'illuminazione dell'ambiente ed escludere zone trasparenti o riflettenti che creano problemi nella fase di acquisizione. Con questo procedimento l'errore medio si aggira intorno ai 4 mm.

12 Con il laser scanner 3D il margine d'inesattezza si calcola oltre i 6 mm.

murarie particolarmente significative, delle campagne mirate con lo scanner a luce strutturata (in assenza di sole o in ombra), con un aggravio delle spese che deve essere valutato.

In questo processo l'architetto, in stretta relazione con il monumento tramite sopralluoghi e schizzi *in loco*, deve guidare gli operatori in tutte le fasi del rilevamento, gestendo l'interazione delle diverse metodiche, ognuna in grado di fornire specifiche indicazioni (non singolarmente esaustive). Successivamente deve selezionare dalle immagini tridimensionali i punti da trasferire nel disegno 2D, per realizzare una restituzione in Autocad il più possibile rispondente alla realtà dell'architettura e agli obiettivi che il progetto intende conseguire¹³.

Per lo studio del degrado l'uso dei nuovi mezzi tecnologici si pone in termini leggermente diversi, perché l'osservazione puntuale della morfologia e della distribuzione delle patologie sulle superfici assume una notevole rilevanza per l'individuazione della loro natura e delle molteplici cause.

Il laser 3D, anche se impostato con definizione di 2x2 mm e con un angolo d'incidenza ottimale della radiazione luminosa, non riesce a riconoscere i fenomeni di deterioramento che si manifestano con esiguo spessore, con diversi gradi di profondità, con elementi di piccole dimensioni (crosta, incrostazione, scagliatura, disgregazione, distacco ecc.) e quelli poco contrastati nel colore (alterazione cromatica), a causa della scarsa risoluzione della fotocamera (*true color*). Sono necessarie, quindi, integrazioni a mano. Nello stesso tempo, però, la riflettanza registrata nella nuvola con Cyclone (*intensity map*), il cui valore cambia in base alla risposta del materiale (più o meno degradato) investito dal laser, visualizza nell'unico modello numerico le alterazioni delle murature, in rapporto alle modalità costruttive, alla presenza di acqua e alle condizioni ambientali¹⁴. Lo scanner a luce strutturata, viceversa, con notevole esattezza, distingue le forme di degrado di limitata entità e ne calcola le misure: il livello della crosta, la grandezza dei grani disgregati della malta, la distanza tra l'intonaco staccato e il substrato sottostante, la larghezza delle mancanze e delle lacune, per fare alcuni esempi. Per queste ultime in particolare, il software interno al dispositivo archivia i dati anche in *file ply* e in *stl*, compatibili con stampanti 3D che consentono, in fase progettuale, di simulare la reintegrazione di frammenti caduti d'intonaco e di elaborare ipotesi ricostruttive di parti danneggiate o perdute del paramento. Inoltre, il programma Meshlab ricalca nella *mesh* il colore reale della cortina muraria, in base al quale è possibile effettuare una classificazione degli organismi biologici infestanti, isolare le efflorescenze, localizzare le macchie e determinare i componenti delle malte e delle finiture¹⁵. Questo strumento, infine, è particolarmente indicato per rilevare senza danni apparecchi murari fortemente compromessi, dal momento che le misure sono prelevate senza contatto diretto con il paramento ma tramite i *pattern*, le cui deformazioni sono registrate in *post-processing* nelle *mesh* con il programma Optocat. Un'operazione che può avvenire, come già ricordato, anche in condizioni climatiche e di luce non agevoli (cripte, catacombe, ambienti ipogei ecc.).

Per rappresentare lo stato di conservazione di alcune strutture murarie dell'edificio scolastico Angelo Mai, è stata rielaborata in funzione delle tecnologie computerizzate la tradizionale modalità di graficizzazione delle tipologie di degrado, con riferimento alla Norma Italiana UNI 11182/2006¹⁶. Per configurare un quadro più esaustivo possibile, sono stati presi in considerazione, a scopo esemplificativo,

13 Ne deriva che il restauratore deve controllare attentamente le operazioni di *scanning*, soprattutto nel caso di *point clouds* e di *mesh* eseguite da altri professionisti. Nel rilevamento delle murature può essere adottato anche il 'rilievo integrato', sovrapponendo alle nuvole di punti fotografie raddrizzate; lo scanner a luce strutturata garantisce, però, un maggior grado di precisione, con la necessità di poche integrazioni manuali: BAGLIONI, INGLESE, 2015, pp. 34-45.

14 Sulle problematiche connesse all'impiego del laser 3D per l'analisi del degrado: DAL MAS 2016a, pp. 26-28; DIAMANTI 2016, p. 41; pp. 66-67, figg. 27-28. Per un approccio più tradizionale, ma con riferimento ai fattori climatici e all'esposizione: BENVENUTI 2016, p. 79; pp. 114-117, figg. 34-36a-36b.

15 Per il rilievo delle zone in cui è importante l'acquisizione della cromia (affreschi, partiti decorativi, graffiti; ma anche patina biologica, alterazione cromatica ecc.), può essere adoperato il laser scanner 3D RGB-ITR a colori e a differenza di fase, messo a punto nel centro ENEA di Frascati, che preleva simultaneamente le misure sub-millimetriche e il colore RGB: DIAMANTI 2016, p. 65, fig. 26. Questo apparecchio è stato recentemente utilizzato per il rilevamento di alcune superfici architettoniche delle catacombe di Priscilla a Roma, nell'ambito del progetto COBRA (Sviluppo e diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la conservazione dei Beni Culturali, basati sull'applicazione di radiazioni e tecnologie abilitanti) dell'ENEA.

16 Si consulti: DAL MAS 2016a, p. 32, fig. 3.

tre distinti materiali (tufo, intonaco e malta), nei quali sono state analizzate quelle alterazioni che risultavano leggibili, anche se con approssimazione diversa, con i tre metodi di rilevamento (Figg. 9-10). A partire dalla fotografia della porzione di muratura esaminata, in corrispondenza della quale è stata trascritta la descrizione del tipo di patologia, sono state disposte in sequenza nel medesimo rapporto in scala, la restituzione grafica dal sistema manuale, la nuvola di punti in *intensity map* del laser 3D e la *mesh* dello scanner a luce strutturata, con le relative osservazioni.

Per il tufo, la visione ravvicinata indispensabile nel rilievo diretto per la presa delle misure e la diagnosi del deterioramento, permette di delineare i bordi della mancanza; la quale può essere meglio circoscritta nella *point cloud* del laser a risoluzione 2x2 mm e calcolata dallo scanner a luce strutturata direttamente a video dalla *mesh*, con un riscontro immediato sul paramento. In questo caso si unisce

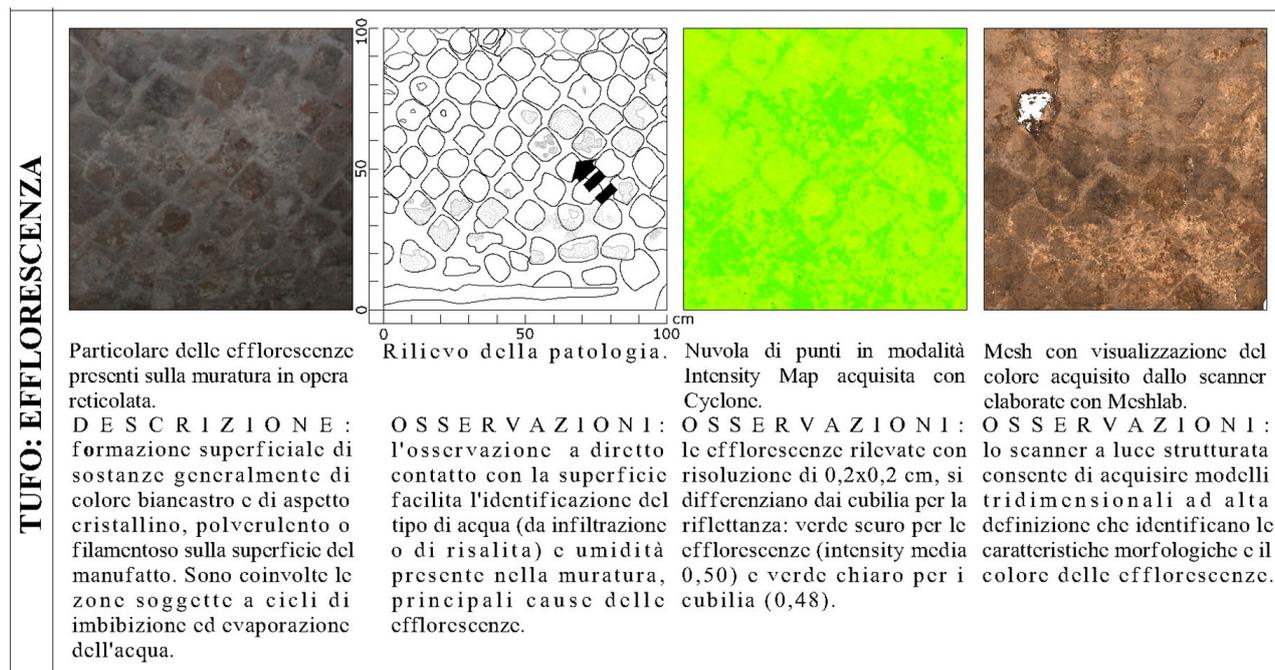


Fig. 9. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, studio del degrado della muratura 1 del I-II secolo d.C. mediante rilievo manuale, laser scanner HDS3000 Leica Geosistem e scanner a luce strutturata Breuckmann SmartScan 3D HE (elaborazione grafica T. Di Lisio).

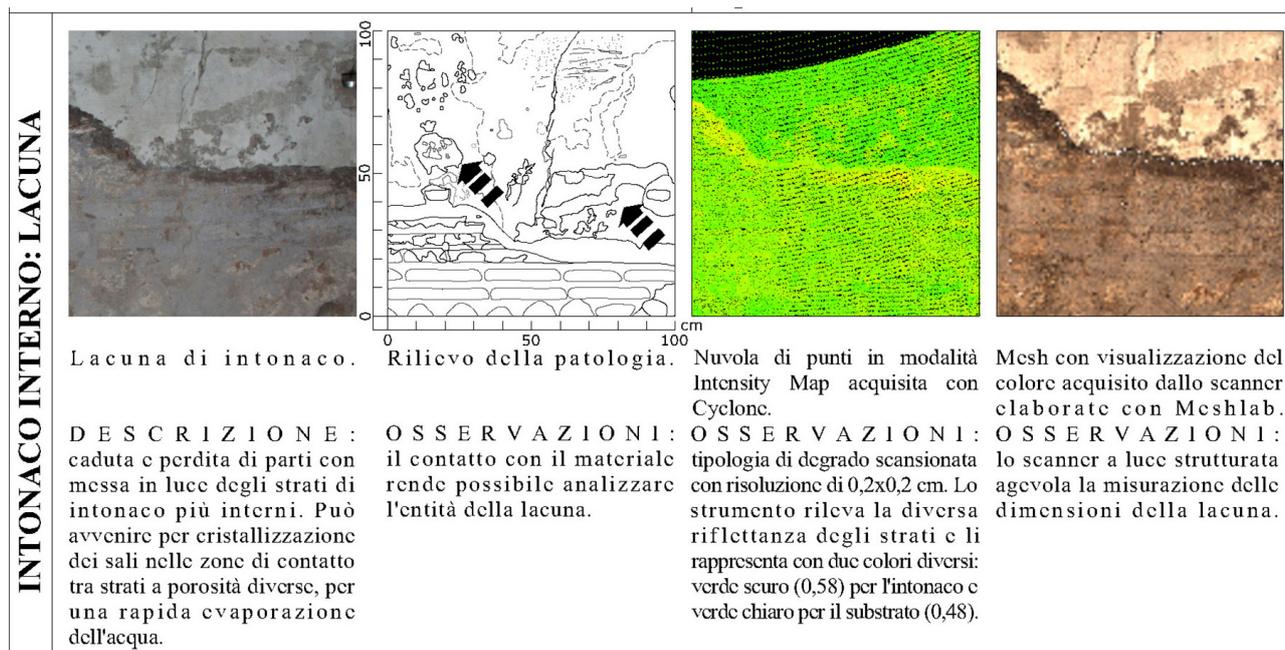


Fig. 10. Roma. Complesso scolastico Angelo Mai, studio del degrado della muratura 1 del I-II secolo d.C. mediante rilievo manuale, laser scanner HDS3000 Leica Geosistem e scanner a luce strutturata Breuckmann SmartScan 3D HE (elaborazione grafica T. Di Lisio).

alla precisione dello strumento la capacità critica e interpretativa dell'architetto che gestisce lo *scanning*. Per le efflorescenze presenti sul materiale lapideo, l'ispezione sul posto e la successiva trasposizione grafica consente d'individuare la provenienza dell'acqua causa del danno; ma il diverso colore della riflettanza acquisito dal laser 3D (verde scuro per le efflorescenze; verde chiaro per il muro), definisce con maggiore chiarezza le aree coperte dalla polvere bianca, cristallina e polverulenta; mentre nella nitida immagine dello scanner si leggono le caratteristiche morfologiche (cristalli, pulviscolo, filamenti) e la corrispondente tonalità cromatica. Per l'aggiunta di malta, direttamente sulla superficie muraria si possono riconoscere i costituenti, la granulometria e la cromia dell'impasto; distinguibile dalla sottostante muratura per la differente riflettanza del laser; viceversa nella *mesh* oltre alla colorazione reale si possono determinare le dimensioni e lo spessore della malta (Fig. 9).

Per l'intonaco, sul paramento è facilmente identificabile l'entità della lacuna; ma la variazione della riflettanza visibile con il laser rende percepibili gli strati sovrapposti, spesso non osservabili a occhio nudo (verde scuro per l'intonachino, verde chiaro per l'arriccio); nella *mesh* oltre al perimetro esatto della parte lacunosa si può verificare immediatamente sullo schermo lo spessore dei livelli dell'intonacatura. Nel caso della macchia, l'esame in loco e la sua successiva graficizzazione sul disegno di rilievo, aiuta a individuare l'origine della patologia in relazione all'intero edificio; il valore della riflettanza captato dal laser colloca con precisione la macchia sul muro (in verde chiaro); ma solamente la fotocamera integrata dello scanner a luce strutturata ne registra puntualmente la pigmentazione, i materiali estranei e l'acqua, oltre alle dimensioni (Fig. 10).

Sulla malta i microrganismi (alghe, funghi, muschi, licheni) sono facilmente riconoscibili durante il sopralluogo e possono essere riprodotti con idonea grafia nella restituzione in Autocad; la specifica cromia che contraddistingue la colonizzazione biologica (giallo) dal substrato (verde), è evidente nella *point cloud*; ma solo nella *mesh* sono visibili i veri colori che garantiscono, con un controllo in tempo reale, di inserire gli agenti infestanti all'interno di una stessa categoria e di indirizzare mirate indagini di laboratorio per scegliere, ad esempio, il metodo di pulitura più efficace, meno invasivo e meno dannoso per gli operatori e per l'ambiente.

In conclusione, nelle fasi di stesura del progetto di restauro le tecniche digitali forniscono un valido supporto al rilievo del monumento a scala maggiore (con il laser scanner 3D) e ai necessari approfondimenti di dettaglio relativamente allo studio delle murature e all'analisi dei tipi di degrado (scanner a luce strutturata). Non deve essere però mai trascurato, o eluso, il decisivo contributo del rilevamento manuale tramite il contatto diretto con realtà dell'architettura che costituisce l'oggetto dell'intervento.

Di fronte al rapido evolversi della tecnologia e degli strumenti informatici velocemente obsoleti, è indispensabile che l'architetto si adoperi per una costruttiva interazione fra le diverse procedure di acquisizione dei dati metrici, valorizzandone le complementari potenzialità, per avere a disposizione una grande quantità di informazioni da cui attingere per configurare le migliori strategie operative, di monitoraggio e di manutenzione programmata. Un bagaglio di competenze ed esperienze che può essere facilmente condiviso su internet.

Roberta Maria Dal Mas, 'Sapienza' Università di Roma, robertamaria.dalmas@uniroma1.it

Referenze bibliografiche

BAGLIONI, INGLESE 2015: L. Baglioni, C. Inglese, *Il rilievo integrato come metodo di studio: il caso di San Bernardino a Urbino*, in «Disegnare», 2015, 51, pp. 34-45

BENVENUTI 2016: S. Benvenuti, *Il palazzo Regis a Roma*, in R.M. Dal Mas (a cura di), *La basilica di San Paolo Maggiore a Bologna e il palazzo Regis a Roma. Restauro e nuove tecnologie*, Aracne, Roma 2016, pp. 75-120

- CARBONARA 1996: G. Carbonara, *Presentazione*, in D. Fiorani, *Tecniche costruttive murarie medioevali. Il Lazio meridionale*, «L'Erma» di Bretschneider, Roma 1996, p. 1
- CARBONARA 2016: G. Carbonara, *Il restauro e i suoi molteplici ambiti disciplinari*, in R.M. Dal Mas (a cura di), *La basilica di San Paolo Maggiore a Bologna e il palazzo Regis a Roma. Restauro e nuove tecnologie*, Aracne, Roma 2016, pp. 11-13
- DAL MAS 2016a: R.M. Dal Mas, *Restauro e nuove tecnologie: una impostazione di metodo*, in *Idem* (a cura di), *La basilica di San Paolo Maggiore a Bologna e il palazzo Regis a Roma. Restauro e nuove tecnologie*, Aracne, Roma 2016, pp. 23-32
- DAL MAS 2016b: R.M. Dal Mas, *San Paolo Maggiore a Bologna e palazzo Regis a Roma: tecnologie a confronto*, in *Idem* (a cura di), *La basilica di San Paolo Maggiore a Bologna e il palazzo Regis a Roma. Restauro e nuove tecnologie*, Aracne, Roma 2016, pp. 35-36
- DIAMANTI 2016: M.C. Diamanti, *La basilica di San Paolo Maggiore a Bologna*, in R.M. Dal Mas (a cura di), *La basilica di San Paolo Maggiore a Bologna e il palazzo Regis a Roma. Restauro e nuove tecnologie*, Aracne, Roma 2016, pp. 37-74
- FANOU, POGGI 2016: S. Fanou, M. Poggi, *Recupero sostenibile ed energeticamente consapevole dell'edilizia storica e monumentale*, in R.M. Dal Mas (a cura di), *La basilica di San Paolo Maggiore a Bologna e il palazzo Regis a Roma. Restauro e nuove tecnologie*, Aracne, Roma 2016, pp. 19-21
- MIGLIORI, PIERATTINI 2016: S. Migliori, S. Pierattini, *L'impegno ENEA nella tutela dei monumenti*, in R.M. Dal Mas (a cura di), *La basilica di San Paolo Maggiore a Bologna e il palazzo Regis a Roma. Restauro e nuove tecnologie*, Aracne, Roma 2016, p. 17

The contribution new technologies make to restoration surveying

Keywords: new technologies, conservation, survey, masonry analysis, degradation

The visualising and processing of data acquired by 3D laser scanners (in point clouds) and structured-light scanners (in mesh) makes a significant contribution when surveying historic buildings - particularly their walls - for the purposes of restoration.

Recent collaborative work with ENEA (the Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development) has shown that it is necessary to combine digital representation information with traditional forms of architectural investigation (site visits, direct analysis, manual detection) and the contributions of historical and archive research, so as to establish what conservation work is required.

The choice of which points should represent a monument is always a cultural operation. The architect, with his or her specific expertise, is responsible for measuring monuments using various different methods and should guide other specialists in all phases of implementation to ensure the precise reconstruction of a building. The combined use of manual surveying, Leica Geosystems' HDS300 3D laser scanners and Breuckmann SmartScan 3D HE structured-light scanners was employed when analysing masonry features and studying the types of decay found at the Angelo Mai school in Rome.