



PROGETTO

Riparazione dei danni e miglioramento sismico del Palazzo Ducale (da Varano), danneggiato dagli eventi sismici del 24 agosto 2016 e successivi

UBICAZIONE

Piazza Cavour - 62032 - Camerino (MC) - Marche - Italia

COMMITTENTE:

UNICAM Università degli Studi di Camerino

Piazza Cavour 19/f 62032 Camerino MC

P.I.: 00291660439

C.F.: 81001910439



Responsabile Unico del Procedimento:

Ing. Gian Luca Marucci

Coordinamento Progetto:

Prof. Ing. Graziano Leoni

Supporto al R.U.P. per:

Indagini strutturali:

Prof. Ing. Alessandro Zona
Ing. Michele Morici
Evolvea s.r.l. - Gruppo Filippetti

Indagini geologiche:

Geol. Marcello Maccari

Analisi storica:

Prof. Arch. Gaia Remiddi

Analisi conoscitiva delle componenti materico-costruttive:

Prof. Arch. Enrica Petrucci
Dott. Graziella Roselli
Arch. Diana Lapucci

Progettazione opere di restauro architettonico:

Prof. Arch. Enrica Petrucci

Progettazione opere strutturali:

Seitec Seismotechnologies srl
Prof. Ing. Luigino Dezi
Ing. Alessandro Balducci

Progettazione opere impiantistiche:

ANTAS S.p.a.

Coordinamento della sicurezza in fase di progettazione:

Arch. Guido Martini

Collaboratori:

Ing. Lucia Barchetta
Ing. Leonardo Cipriani
Arch. Noemi Lapucci
Ing. Claudia Canuti
Geomore s.r.l.

TITOLO

Progetto Esecutivo Relazione Piano Indagini Diagnostiche

ELABORATO:

A

0 0 5 .0

DISCIPLINA

RELAZIONI

| REVISIONE | DATA: | OGGETTO: | REDATTO: | VERIFICATO: | APPROVATO: | SCALA: |
|-----------|------------|---|----------|-------------|------------|------------|
| rev_00 | 5/11/2021 | EMISSIONE DEL PROGETTO | | | | |
| rev_01 | 27/02/2023 | EMISSIONE PER VERIFICA PROGETTO ESECUTIVO | | | | |
| rev_02 | __/__/__ | | | | | |
| rev_03 | __/__/__ | | | | | |
| rev_04 | __/__/__ | | | | | NOME FILE: |

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 1 a 10 |

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | PROGETTO DELLA CAMPAGNA SPERIMENTALE DI PROVE | 2 |
| 1.1 | Generalità | 2 |
| 1.2 | Individuazione dei punti di prova | 3 |
| 1.2.1 | Rimozione di intonaco ed endoscopie sui paramenti murari..... | 4 |
| 1.2.2 | Tasche di sondaggio ed endoscopie sugli orizzontamenti | 5 |
| 1.2.3 | Prove con martinetti piatti doppi | 5 |
| 1.2.4 | Valutazione della trazione delle catene | 5 |
| 1.2.5 | Valutazione dello stato di conservazione delle colonne in arenaria del Portico da Varano . | 5 |
| 1.3 | Riepilogo delle prove da eseguire | 7 |
| 2 | Descrizione delle Prove..... | 8 |
| 2.1 | Endoscopie..... | 8 |
| 2.2 | Rimozione di intonaco | 8 |
| 2.3 | Tasche di sondaggio..... | 8 |
| 2.4 | Martinetto piatto doppio | 8 |
| 2.5 | Tiro delle catene | 9 |
| 2.6 | Prove ultrasoniche..... | 9 |
| 2.7 | Prove radiografiche | 9 |
| 2.8 | Prove di compressione uniassiale..... | 10 |

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 2 a 10 |

1 PROGETTO DELLA CAMPAGNA SPERIMENTALE DI PROVE

1.1 Generalità

Come riportato nella Direttiva PCM 9 febbraio 2011, la conoscenza della costruzione storica in muratura è un presupposto fondamentale, sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale, sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento.

Molte problematiche sono comuni a tutti gli edifici esistenti; tuttavia, nel caso del patrimonio culturale di particolare pregio storico-artistico, è ancora più importante conoscere le caratteristiche originarie della fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo per adattamenti d'uso e trasformazioni antropiche, oltre che gli inevitabili fenomeni di degrado e danneggiamento derivanti dall'invecchiamento dei materiali e dagli eventi calamitosi.

L'insieme delle conoscenze da acquisire dovrà essere da un lato frutto di una ricerca storico-critica accurata che consenta di ricostruire il quadro delle trasformazioni nel tempo, dall'altro costituito da una serie di indagini in sito che consentano di acquisire tutte le caratteristiche necessarie alla conoscenza della costruzione.

I principali fattori che contribuiscono a definire il livello di conoscenza sono rappresentati da:

- localizzazione della costruzione in particolari aree a rischio, rapporto della stessa con il contesto urbano e identificazione degli elementi di pregio che possono condizionare il livello di rischio;
- geometria (caratteristiche geometriche degli elementi strutturali e non strutturali);
- evoluzione dell'edificio in termini di sequenza delle fasi di trasformazione edilizia dall'ipotetica configurazione originaria all'attuale;
- materiali e tecniche costruttive con cui sono realizzati, sia nella fase d'impianto che nei successivi interventi di restauro che hanno modificato il comportamento della struttura;
- conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione, con riferimento anche alle variazioni avvenute nel corso degli anni ed ai relativi dissesti.

Nell'edificio storico in esame sono stati fatti numerosi sopralluoghi tecnici finalizzati all'acquisizione dei principali dati metrici e costruttivi. Nel corso dei sopralluoghi è stato possibile effettuare una ricognizione generale e rilievi geometrico-strutturali, riferiti sia alla costruzione nel suo complesso che a quella degli elementi costruttivi. Data la complessità del Palazzo, è stato possibile solo in parte individuare le caratteristiche della costruzione, estremamente variabili in base al periodo di costruzione e ai sopraggiunti interventi di restauro

In particolare, sono stati acquisiti i dati metrici e costruttivi necessari per le fasi di indagine connesse alla progettazione dell'intervento e per la modellazione del complesso. Tuttavia, alcune parti del Palazzo Ducale non risultano ancora sufficientemente indagate e pertanto necessitano di ulteriori approfondimenti conoscitivi.

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 3 a 10 |

La presente campagna di indagini risulta indispensabile per la progettazione degli interventi di restauro con miglioramento sismico; ciò per assicurare la conservazione del Palazzo Ducale attraverso l'incremento della capacità di resistere a futuri eventi sismici. È assodato che progettazione degli interventi deve necessariamente basarsi su una conoscenza approfondita delle attuali caratteristiche della struttura. Per questo motivo, nei punti in cui l'osservazione diretta non può consentire di comprendere pienamente le caratteristiche della fabbrica e le sue capacità di resistenza, occorre pianificare una serie di prove, da studiare per salvaguardare il Palazzo, senza interessare porzioni dello stesso con apparati decorativi, purtroppo in molte porzioni già compromessi dai precedenti interventi di restauro.

Il rilievo materico costruttivo deve permettere di individuare, in ogni sua parte, l'organismo resistente della fabbrica, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Tale riconoscimento richiederà l'acquisizione di informazioni spesso nascoste (sotto intonaco, dietro a controsoffitti, ecc.).

Per analizzare le porzioni non a vista saranno eseguite indagini non distruttive di tipo indiretto o ispezioni dirette debolmente distruttive (endoscopie, rimozioni controllate e limitate di intonaco, saggi, piccoli scassi, ecc.) localizzando i punti di prelievo in relazione a quanto definito dall'analisi storico-critica del complesso, per evitare come già sottolineato di compromettere possibili tracce appartenenti alle fasi originarie del complesso.

1.2 Individuazione dei punti di prova

Ai fini della valutazione della qualità e della consistenza delle murature si rende necessario analizzarle preliminarmente tramite rilievo visivo, identificando la tipologia della muratura, la qualità del collegamento tra pareti verticali, la qualità del collegamento tra orizzontamenti (solai, volte e coperture) e pareti, con rilievo dell'eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento (catene, ecc.), elementi di discontinuità determinati da cavedi, tipologia degli orizzontamenti (solai, volte, coperture), ecc.

Tale operazione preliminare permetterà di definire, con riferimento ai maschi murari, murature con caratteristiche simili e di costruire un abaco tipologico delle murature. Successivamente, per alcune tipologie di muratura che presentano un quadro fessurativo significativo o per le quali esistono dubbi in merito alla relativa capacità strutturale, saranno previste prove in sito con martinetti piatti doppi con lo scopo di valutarne le proprietà meccaniche.

Per facilitare l'individuazione dei punti di indagine l'intera struttura è stata suddivisa in tre corpi di fabbrica, come indicato nella Figura 1.

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 4 a 10 |

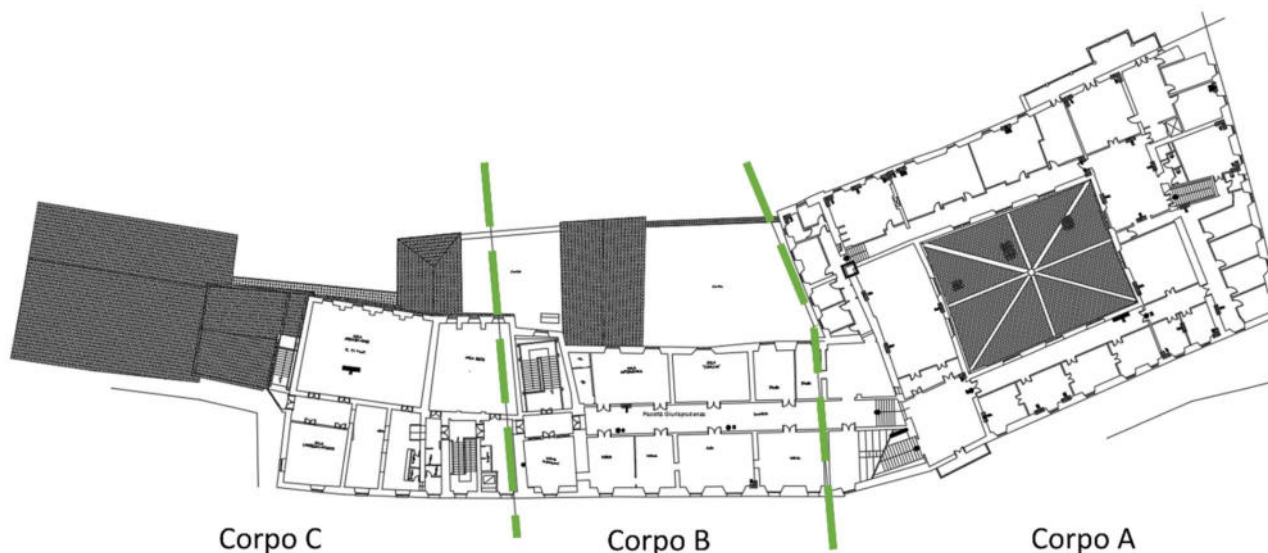


Figura 1: Planimetria generale con individuazione dei 3 corpi principali

1.2.1 Rimozioni di intonaco ed endoscopie sui paramenti murari

Le rimozioni di intonaco riguarderanno principalmente il corpo A e B dove sono maggiormente diffuse le pareti intonacate; per il corpo C tali indagini saranno molto limitate in quanto la maggior parte della muratura non è intonacata ed è stata recentemente sostituita durante gli ultimi interventi di restauro.

Nelle murature, ove non è possibile valutare la consistenza in quanto intonacate, previo accertamento dell'assenza di strati pittorici significativi mediante saggi stratigrafici localizzati, si procederà alla rimozione parziale dell'intonaco e alla realizzazione di indagine endoscopica per valutare la qualità, la tessitura interna e la presenza di discontinuità.

Le rimozioni di intonaco saranno eseguite principalmente in prossimità di aree dove sono presenti lesioni significative con lo scopo di valutare anche la profondità e la gravità della lesione stessa.

Saranno inoltre rimosse porzioni di intonaco interno in prossimità delle aperture che sono state richiuse in interventi passati, con lo scopo di valutare il grado di ammorzamento delle murature ricostruite. In aggiunta saranno rimosse porzioni di intonaco in prossimità delle aree dove sono stati eseguiti interventi recenti (ad esempio realizzazione di cordoli in breccia, perforazioni verticali ecc..) per valutare lo stato dell'intervento e la sua estensione che non sempre è accertabile, nonostante la documentazione disponibile per i numerosi interventi di restauro che sono stati effettuati nel corso del XX secolo.

Per quanto riguarda il corpo A saranno eseguite endoscopie sugli speroni lato orto botanico per valutare lo spessore dei paramenti e il loro grado di ammorzamento, dato che è possibile analizzare solo la muratura in laterizio a vista, ma non la consistenza interna di questi ringrossi murari.

Maggiori dettagli sui punti di indagine sono riportati negli elaborati grafici allegati.

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 5 a 10 |

1.2.2 *Tasche di sondaggio ed endoscopie sugli orizzontamenti*

Per ogni tipologia di orizzontamento saranno eseguite endoscopie e tasche di sondaggio per valutare la stratigrafia, anche per una più accurata valutazione dei carichi permanenti.

Per quanto riguarda gli orizzontamenti realizzati con struttura in laterocemento o acciaio, ove non presente nessuna documentazione d'archivio, sarà valutata, tramite una tasca, la possibile presenza di soletta collaborante armata e di connessioni alle murature perimetrali (es. cordolo in breccia).

Per quanto riguarda le volte del quadriportico saranno realizzate dall'estradosso endoscopie e tasche di sondaggio per valutare gli spessori dei riempimenti e delle eventuali costolature.

Maggiori dettagli sui punti di indagine sono riportati negli elaborati grafici allegati.

1.2.3 *Prove con martinetti piatti doppi*

Per ogni tipologia muraria sarà prevista l'esecuzione di prove con martinetti piatti doppi con lo scopo di valutare i parametri meccanici (modulo elastico e tensione di rottura) della muratura. Con tale prova sarà possibile valutare anche lo stato tensionale del paramento murario, dato molto importante per la valutazione dell'accuratezza del modello strutturale in condizioni di carico statico. Maggiori dettagli sui punti dove saranno eseguite le prove sono riportati negli elaborati grafici allegati.

1.2.4 *Valutazione della trazione delle catene*

Per quanto riguarda il corpo A, si prevede una campagna di indagini specifica per valutare la trazione delle catene del sistema di volte a crociera della *Loggia Magna*. Le prove saranno di tipo non distruttivo attraverso la valutazione della risposta dinamica ad una sollecitazione impulsiva esterna. Tale sollecitazione è impressa da un martello strumentato e le vibrazioni risultanti sono registrate da un sistema di accelerometri piezoelettrici collegati alla catena tramite magneti. Una volta nota la risposta dinamica in termini di frequenze di vibrazione e forme modali, sarà possibile valutare indirettamente il valore della trazione delle catene. Inoltre, sarà possibile confrontare i risultati con quelli ottenuti da prove analoghe effettuate nel 2011 dall'Università di Parma.

1.2.5 *Valutazione dello stato di conservazione delle colonne in arenaria del Portico da Varano*

Per valutare lo stato di conservazione delle colonne in arenaria appartenenti al Portico da Varano e caratterizzate da un degrado avanzato con presenza di fessurazione superficiale, saranno effettuate prove ultrasoniche consistenti nel calcolo della velocità di propagazione di onde ultrasoniche. Le misurazioni ultrasoniche avverranno posizionando la sonda trasmittente e la sonda ricevente all'estremità di due direttrici diagonali ortogonali; le misurazioni saranno effettuate sia nella sezione di base della colonna che nella sezione di mezzeria. Tali misurazioni permetteranno di rilevare zone non omogenee e la presenza di fessure superficiali.

Per avere ulteriori indicazioni relativamente alla consistenza del materiale lapideo, saranno eseguite prove con martello di Smith a bassa energia denominato Equotip. Le misurazioni effettuate tramite Equotip

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 6 a 10 |

sono influenzate dal contenuto di umidità dell'arenaria, pertanto, si effettueranno misurazioni anche di strati più profondi su piccoli fori sulla superficie.

Per le colonne, interessate dagli interventi da parte della Sovrintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio delle Marche degli anni '70 (inserimento di barre di armatura all'interno di perfori realizzati all'interno delle colonne e successivamente iniettati con betoncino), saranno eseguite prove radiografiche per controllare lo stato dell'intervento. Tali prove, non distruttive, permetteranno valutare la posizione, il numero e lo stato di conservazione delle barre di armatura inserite.

Infine, per valutare la resistenza dell'arenaria saranno eseguite prove di schiacciamento su provini cilindrici. Da studi geologici preliminari del materiale costituente le colonne e dei banchi di arenaria affioranti nel livello dell'orto botanico è risultato che entrambi i materiali appartengono alla stessa formazione geologica. Pertanto, l'estrazione dei provini cilindrici avverrà direttamente sul banco affiorante nel livello dell'orto botanico senza interessare le colonne. Prima della prova di schiacciamento saranno effettuate prove soniche e con Equotip sui provini estratti al fine di tarare una legge che correli entrambe le misure alla resistenza (tipo SONREB). Tale legge sarà successivamente utilizzata per stimare la resistenza del materiale delle colonne a partire dalle misure soniche e con Equotip.

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 7 a 10 |

1.3 Riepilogo delle prove da eseguire

Nella tabella successiva sono riportate le indagini e le prove invasive che saranno eseguite sui tre corpi individuati.

| Tabella riepilogativa tipologia, numero e incidenza al mq dei sondaggi | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|------|--------------|------|-----------------------------|------|-----------|------|--------------------------|------|-----------|------|--------------------------|------|--------------|------|-----------|------|
| | Corpo A | | | | | | Corpo B | | | | | | Copro C | | | | | |
| | P. Nobile | | P. Ammezzato | | P. Strada | | P. Nobile | | P. Ammezzato | | P. Strada | | P. Nobile | | P. Ammezzato | | P. Strada | |
| Superficie [m ²] | 1206,90 | | 374,71 | | 1206,90 | | 511,54 | | 511,54 | | 538,23 | | 358,85 | | 712,31 | | 727,48 | |
| | n. | %/mq | n. | %/mq | n. | %/mq | n. | %/mq | n. | %/mq | n. | %/mq | n. | %/mq | n. | %/mq | n. | %/mq |
| Tasca di sondaggio | 25 | 2,07 | 12 | 3,20 | 13 | 1,08 | 4 | 0,78 | 3 | 0,59 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Endoscopie su parete | 6 | 0,50 | 5 | 1,34 | 6 | 0,50 | 7 | 1,37 | 2 | 0,39 | 2 | 0,37 | 4 | 1,11 | 8 | 1,12 | 5 | 0,69 |
| Tasca di sondaggio solaio | 1 | 0,07 | - | - | - | - | - | - | 9 | 1,17 | - | - | 1 | 0,28 | - | - | - | - |
| Endoscopie su solaio | 16 | 1,32 | 6 | 1,60 | - | - | 3 | 0,59 | - | - | - | - | 1 | 0,28 | 1 | 0,14 | - | - |
| Martinetti piatti doppi | - | - | - | - | 2 | 0,16 | - | - | - | - | 2 | 0,37 | - | - | - | - | 5 | 0,69 |
| Portico da Varano (Copro A) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prova | Elementi da indagare | | | | Sezioni di misura | | | | n. direzioni di misura | | | | n. ripetizioni di misura | | | | | |
| Ultrasonica | 14 colonne | | | | 2 (Base e Mezzeria colonna) | | | | 2 (diagonali ortogonali) | | | | 4 | | | | | |
| Impatto con martello strumentato | 18 catene | | | | 3 | | | | 1(or.) | | | | 3 | | | | | |
| Radiografica | 4 colonne | | | | Intero fusto | | | | 1 | | | | - | | | | | |

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 8 a 10 |

2 DESCRIZIONE DELLE PROVE

2.1 Endoscopie

Le indagini endoscopiche saranno eseguite praticando fori di piccole dimensioni (diametro da 25 a 30 mm) sia sui paramenti verticali che sugli orizzontamenti. La profondità dei fori dipenderà dallo spessore dell'elemento oggetto di indagine, con l'obiettivo di indagare la stratigrafia complessiva dell'elemento, individuando la presenza di eventuali vuoti o cavità negli spessori murari. Tutte le aree oggetto di endoscopie, prima della esecuzione dei fori saranno preliminarmente analizzate per individuare la presenza di possibili elementi di pregio, non visibili in quanto occultati al di sotto di ulteriori strati d'intonaco moderni. Le indagini saranno restituite mediante documentazione fotografica.

2.2 Rimozioni di intonaco

Le rimozioni di intonaco avranno lo scopo di mettere alla luce la tessitura muraria e la presenza di un certo grado di ammorzamento tra pareti ortogonali. Le operazioni riguarderanno la rimozione di piccole porzioni d'intonaco sino al raggiungimento della struttura muraria sottostante, valutando con attenzione la stratigrafia degli stessi intonaci per evitare di intercettare strati pittorici significativi che, come osservato in premessa, sono oggi molto limitati in quanto gli interventi di restauro hanno già messo a vista quelli più interessanti appartenenti alle fasi più antiche del Palazzo. Le operazioni saranno eseguite a mano ed ove possibile con l'utilizzo di piccoli utensili demolitori. Qualora si rilevasse la presenza di intonaci con tracce di apparati decorativi, non si procederà con l'ulteriore rimozione dell'intonaco. La dimensione della tasca di sondaggio sarà di dimensioni indicative 30cm x 30cm che potranno essere aumentate all'occorrenza. Le indagini saranno restituite mediante documentazione fotografica.

2.3 Tasche di sondaggio

Le tasche di sondaggio di intonaco avranno lo scopo di mettere alla luce con maggior dettaglio la stratigrafia degli elementi strutturali, qualora non fosse possibile una loro nitida ricostruzione mediante le endoscopie. Le operazioni riguarderanno la rimozione degli strati di materiale sino al raggiungimento della struttura da analizzare. Le operazioni saranno eseguite a mano ed ove possibile con l'utilizzo di piccoli utensili demolitori. La dimensione della tasca di sondaggio sarà di quadrata di dimensioni indicative 30cm x 30cm che potranno essere aumentate all'occorrenza. Qualora si rilevasse la presenza di elementi di pregio non si procederà con l'ulteriore rimozione di materiale. Le indagini saranno restituite mediante documentazione fotografica.

2.4 Martinetto piatto doppio

L'indagine con doppio martinetto piatto si esegue su due tagli paralleli nella muratura ad una distanza tra i 40 a 80 cm, comunque non maggiore a 1.5 volte la lunghezza dei martinetti come riportato dalle Linee Guida redatte da RELUIS inerenti "Modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione, miglioramento e ricostruzione di edifici inagibili", all'interno dei quali vengono posizionati i due martinetti

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 9 a 10 |

piatti. Se possibile i tagli saranno effettuati in corrispondenza dei giunti di malta nelle murature più regolari mentre in quelle più caotiche si studieranno i punti in cui effettuare tali tagli, in funzione del tipo di muratura da analizzare. In questo caso la pressione esercitata dai due martinetti può raggiungere valori fino a tre volte superiori a quelli iniziali, in modo da fornire indicazioni sulle caratteristiche di resistenza della muratura: modulo elastico, caratteristiche di deformazione, resistenza di rottura o di prima fessurazione, da confrontare con i valori che sono stati rilevati mediante l'applicazione del metodo di valutazione dell'Indice di Qualità Murario (IQM) effettuato su alcuni campioni di murature a vista presenti nelle parti più antiche del Palazzo.

2.5 Tiro delle catene

L'indagine volta alla valutazione della trazione delle catene del sistema di volte a crociera della *Loggia Magna* sarà effettuata mediante misurazione della risposta dell'elemento ad una forza impulsiva, impressa tramite martello strumentato dotato di idonea punta battente in materiale plastico, in funzione al range di risposta in frequenza cercato. Nello specifico, la prova verrà eseguita tramite posizionamento di accelerometro piezoelettrico (di adeguata sensibilità e range di risposta in frequenza) con base magnetica nella mezzeria dell'elemento sottoposto a test; la superficie di contatto verrà preventivamente e accuratamente pulita così da non avere interferenze che possano alterare il risultato della prova. Per avere una corretta valutazione delle proprietà dinamiche modali dell'elemento, verranno impresse n.4 martellate successive, per ognuna si valuterà la FRF "Frequency Response Function" e successivamente si andranno a valutare forma modale, frequenza e smorzamento per ogni modo di vibrare indagato.

2.6 Prove ultrasoniche

L'indagine con sonde ad ultrasuoni, eseguite in accordo con quanto previsto dalla norma UNI-EN-12504-4, permettono di valutare l'omogeneità del materiale e la presenza di eventuali discontinuità o fessure all'interno della sezione indagata. La prova consiste nella misura del tempo che impiega l'onda emessa dalla sonda emittente ad arrivare alla sonda ricevente. Per la prova verranno utilizzate delle sonde aventi un campo di ultrasuoni compreso tra i 20kHz e i 150 kHz; tra la superficie di interfaccia sonda-colonna sarà interposto uno strato di grasso di vasellina così da garantire un giusto contatto tra le due superfici. Le letture del tempo di transito saranno in un numero non inferiore a quattro così da andare a ricercare il valore minore di tale lettura, fattore determinante per stabilire la riduzione al minimo dello spessore di accoppiamento.

2.7 Prove radiografiche

L'indagine radiografica è una tecnica diagnostica non distruttiva che permette di ottenere immagini bidimensionali delle porzioni di strutture indagate. Il principio di funzionamento si basa sull'interazione di radiazioni ionizzanti con un corpo posto tra una sorgente emettente ed un ricevitore. Nel loro percorso, le radiazioni possono essere assorbite dal corpo interposto, diffuse o trasmesse al ricevitore. Se nell'oggetto esaminato esistono difetti quali cavità, fessure, grosse inclusioni o discontinuità più dense come nel caso di armature metalliche, allora sul ricevitore si formeranno macchie più scure o più chiare con intensità

| | | |
|---------------|---|---|
| R 0001 | Palazzo Ducale di Camerino (MC) <i>Rilievo geometrico e materico. Campagna di indagini sulle strutture e sugli impalcati.</i> | RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUGLI IMPALCATI |
| | | Rev. 30 – Dicembre 2021 |
| | | Pag. 10 a 10 |

proporzionale allo spessore del difetto. La fattibilità e l'esecuzione della prova saranno affidate ad una società accreditata all'esecuzione di indagini diagnostiche con l'utilizzo di tale tecnica.

2.8 Prove di compressione uniassiale

L'indagine volta a valutare la resistenza a compressione uniassiale dei campioni di arenaria verrà eseguita in accordo con la metodologia stabilita dalla UNI-EN-1926:2007 da laboratorio certificato per effettuare prove sui materiali. Per il prelievo delle carote si utilizzerà un campionatore idoneo ad ottenere una carota avente un diametro tale da garantire il rapporto di 10:1 tra il campione e la massima dimensione delle particelle granulometriche che compongono la roccia. Per ogni carota si ricaveranno dei provini cilindrici di uguale diametro e altezza; prima di essere sottoposti alla prova le due facce del provino saranno rettificate con una tolleranza di 0.1mm.

LEGAZIONE

Piazza Cavour - 62032 - Camerino (MC) - Marche - Italia

COMMITTENTE:

UNICAM Università degli Studi di Camerino

Piazza Cavour 19/T 62032 Camerino MC
P.I.: 00291860439
C.F.: 81001910439



| | | | | | | |
|---|---------|-------------------------|---------|------------|--|----------------------|
| Rilievo geometrico : Pianta Piano Strada | | | | | <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 2px solid red; padding: 10px; font-size: 40px; margin-right: 10px;">A</div> <div> ELABORATO: <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 24px;"> 0 0 6 1 </div> </div> </div> | |
| DESCRIZIONE | | | | | RELAZIONI | |
| REVISIONE | DATA | OGGETTO | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO | SCALA |
| REV. 00 | 04/1981 | Estensione del progetto | | | | 1:100 |
| REV. 01 | | | | | | |
| REV. 02 | | | | | | |
| REV. 03 | | | | | | |
| REV. 04 | | | | | | |
| REV. 05 | | | | | | |
| NOME/FIL: | | | | | | A-005_Piano Indagini |

SLZ-Yxx **Y** **xx** **prospetto**
 tasca di sondaggio con rimozione intonaco in
 prossimità di una lesione

SRfZ-Yxx
 tasca di sondaggio con rimozione intonaco

SR-Yxx
 tasca di sondaggio con rimozione intonaco per
 tutta l'altezza

SS-Yxx
 tasca di sondaggio in prossimità del solaio
 con rimozione pavimentazione esistente

ES-Yxx **Y** **xx**
 endoscopia solaio

E-Yxx
 endoscopia parete

MD-Yxx **Y** **xx**
 Martinetto piatto doppio

Z **X**
 Z = a
 Z = m
 Z = b

Y = corpo fabbrica (A, B o C)
xx = numero progressivo prova

scala 1:100

Rilievo eseguito con Laser Scanner

Rilievo acquisito



LEGAZIONI
Piazza Cavour - 62032 - Camerino (MC) - Marche - Italia

COMBATTENTE
UNICAM Università degli Studi di Camerino

Piazza Cavour 191/62032 Camerino MC
P.I.: 00291860439
C.F.: 81001910439



| | | | | | | |
|---|----------|-------------------------|---------|------------|--|--|
| Rilievo geometrico : Pianta Piano Ammezzato | | | | | <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; font-size: 2em; font-weight: bold; color: red;">A</div> | ELABORATO: <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 1.5em; font-weight: bold;"> 0062 </div> |
| DESCRIZIONE | | | | | RELAZIONI | |
| REVISIONE | DATA | OGGETTO | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO | SCALA |
| 01 | 01/08/21 | Estensione DEL PROGETTO | | | | 1:500 |
| 02 | | | | | | |
| 03 | | | | | | |
| 04 | | | | | | |
| 05 | | | | | | |
| 06 | | | | | | |
| 07 | | | | | | |
| 08 | | | | | | |
| 09 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| NOME/FIL A-005_Piano Indagini | | | | | | |

SLZ-Yxx **Y** **xx** **prospetto**
 tasca di sondaggio con rimozione intonaco in
 prossimità di una lesione

SRfZ-Yxx
 tasca di sondaggio con rimozione intonaco

SR-Yxx
 tasca di sondaggio con rimozione intonaco per
 tutta l'altezza

SS-Yxx
 tasca di sondaggio in prossimità del solaio
 con rimozione pavimentazione esistente

ES-Yxx
 endoscopia solaio

E-Yxx
 endoscopia parete

MD-Yxx
 Martinetto piatto doppio

Z
 Z = a
 Z = m
 Z = b

Y = corpo fabbrica (A, B o C)
xx = numero progressivo prova

scala 1:100

Rilievo eseguito con Laser Scanner

Rilievo acquisito



