

INDAGINI DIAGNOSTICHE INTEGRATE EX POST PER IL MONITORAGGIO DI INTERVENTI DI RESTAURO ARCHITETTONICO

IL CASO DELLE COPERTURE LIGNEE DI PALAZZO DA VARANO A CAMERINO (MC)

di Vittorio Ceradini e Alessia Bianco



Figura 1 - Camerino e Palazzo Da Varano (1).

La diagnostica strumentale in situ ha acquistato, da circa un ventennio, un ruolo determinante nella fase di definizione progettuale del restauro architettonico soprattutto conservativo; molto meno diffusa è invece la pratica della sua applicazione in corso o a fine d'opera, per verificare la corretta esecuzione o la validazione degli interventi proposti. L'articolo riporta il caso studio di una campagna diagnostica ex post, realizzata presso alcune coperture lignee di Palazzo Da Varano a Camerino (MC).

PREMESSA

La diagnostica strumentale in situ rappresenta uno strumento importante nel restauro architettonico conservativo e da circa un ventennio è sempre più diffusamente utilizzata anche nel restauro di fabbriche non di carattere monumentale o di rilevante tenore testimoniale, trovando una certa adesione altresì nel tecnico generalista, che si interessa di restauro, mostrando sempre più una nuova sensibilità e consapevolezza della circostanza per cui l'approfondimento conoscitivo dell'edificio permette di minimizzare e qualificare l'intervento di restauro, con una riduzione non solo dei costi, ma anche dei tempi e dei rischi connessi alle soluzioni adottate. Tuttavia la diagnostica strumentale in situ ad oggi trova applicazione quasi esclusivamente nelle fasi di definizione progettuale degli interventi, quindi prevalentemente nell'accezione in cui essa possa rappresentare un supporto alla conoscenza del palinsesto dell'edificio, alla comprensione degli aspetti tecnico-costruttivi e alla definizione delle capacità comportamentali, soprattutto strutturali, delle fabbriche antiche. Meno diffuso è invece l'impiego delle tecnologie diagnostiche strumentali in corso d'opera o a conclusione di un intervento di restauro; difatti, se si escludono le procedure relative alle attività di collaudo, è piuttosto raro che la diagnostica

strumentale venga ad essere impiegata in fieri o ex post, per verificare l'efficacia della soluzione progettuale scelta o per effettuare un controllo di coerenza tra progetto ed eseguito, se non in concomitanza di contenziosi o in circostanza del verificarsi di difformità, anomalie e problemi emergenti a conclusione delle opere.

Eppure l'introduzione di questa prassi nel restauro conservativo, anche non monumentale, omologamente poco costosa se si correla ai rischi connessi, potrebbe rappresentare uno strumento utile alle tutela di tutti gli attori (non solo il committente, ma anche il progettista, le ditte fornitrici, l'impresa esecutrice, la DL, ecc.), secondo un orientamento che vede in altri settori specialistici, ad esempio quello infrastrutturale, una pratica ormai consolidata e ampiamente normata.

E' in tale ottica che si presenta un'esperienza di diagnostica strumentale ex post, realizzata presso il Palazzo Da Varano di Camerino (fig. 1), sede dell'Ateneo cittadino, oggetto pochi anni fa tra l'altro di un intervento locale di sostituzione delle alcune coperture, ove è stata di realizzata una recente campagna diagnostica, atta a verificare la presenza di anomalie e problematiche connesse alle scelte di progetto e ai materiali impiegati.

IL CASO STUDIO

Palazzo Da Varano di Camerino, anche detto Palazzo Ducale, è il più esteso complesso monumentale residenziale fortificato della città; di fondazione duecentesca, ha vissuto una prima importante fase di espansione e riorganizzazione formale in età pieno rinascimentale e nel tempo un insieme di ampliamenti, rifusioni, sopraelevazioni, connesse alla densa vita funzionale, che oggi lo vede in parte ospitare talune sedi universitarie e in parte istituzioni museali e culturali. L'edificio è stato oggetto negli ultimi anni di diverse opere di restauro, conseguenti ai danneggiamenti subiti in occasione del sisma del 1997.

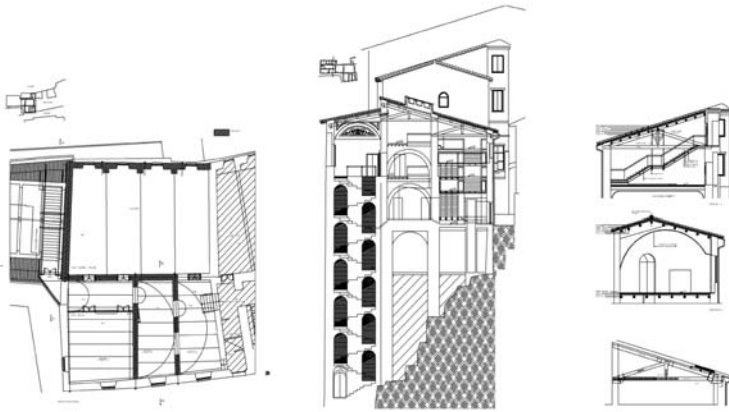


Figura 2 - Elaborati di progetto, stralcio (2).



Figura 3 - Una capriata in rovere.

Tra queste è interesse specifico di questa trattazione la realizzazione di un intervento che ha visto tra l'altro la predisposizione di opere di sostituzione delle coperture lignee di alcune sale destinate ad aule didattiche, al fine del miglioramento del comportamento sotto azione sismica; la soluzione adottata, di tipo conservativo, ha visto la messa in opera di un sistema di incavallature lignee, in linea generale capriate, adeguatamente rese solidali alle cimase murarie tramite un cordolo sommitale in muratura, con soprastante sistema di ordito secondario arcarecci-fette-piannelle-manto, conformi al lessico costruttivo locale tradizionale (fig. 2-3). Per la realizzazione delle capriate e degli orditi di copertura è stato utilizzato per un vano il castagno, per altri il rovere, un'essenza diversa da quella originariamente impiegata, pur tuttavia ampiamente nelle applicazioni strutturali, grazie alle sue

buone proprietà meccaniche e di durezza, in relazione al suo peso di volume (2). Ad alcuni anni dalla realizzazione dell'intervento, nel corso dei quali le opere avevano mostrato adeguatezza e i materiali coerenza comportamentale, si è manifestata, in assenza di straordinarie cause perturbatrici esterne, come può essere il sisma, una fessurazione atipica di una catena lignea di capriata, in corrispondenza di un nodo catena-puntone e la presenza di un blando attacco xilofage a carico di alcuni arcarecci, in corrispondenza dell'appoggio al muro; di qui l'opportunità di realizzare una campagna investigativa in situ, atta a eseguire una validazione d'insieme e a verificare lo stato conservativo locale; la circostanza ha costituito anche un'occasione di riflessione, su dati numerici qualitativi e qualitativi, dell'adeguatezza della scelta del rovere, rispetto ad essenze più ordinarie, quali ad esempio il castagno.

LA CAMPAGNA DIAGNOSTICA: PROGRAMMAZIONE, ESECUZIONE, RISULTANZE

La progettazione della campagna diagnostica (fig. 4) ha dovuto rispettare alcune precise istanze; in primo luogo, tenuto conto che la destinazione funzionale delle sale ad aule universitarie, la campagna doveva essere speditiva, così da poter minimizzare i tempi di esecuzione e elaborazione delle risultanze in situ; inoltre l'impossibilità di realizzare ponteggi estesi ha suggerito di eseguire delle indagini con strumentazioni in situ leggere, quasi manuali (3). Ciò ha portato all'esclusione di indagini termografiche di tipo attivo, non potendo raggiungere le strutture con adeguate fonti di calore; né le condizioni di rigore climatico del periodo di svolgimento della campagna hanno indicato l'applicazione di indagini termografiche passive. Inoltre l'indagine ispettiva generale non aveva suggerito problematiche specifiche locali; di qui la scelta di seguire due livelli di approfondimento conoscitivo.

Si è determinato pertanto di eseguire una prima campagna diagnostica estesa, tramite l'utilizzo di strumentazione ad ultrasuoni per il rilevamento dei tempi di volo, specificatamente calibrata per l'essenza lignea in oggetto; a tal riguardo deve evidenziarsi la difficoltà di reperimento di una bibliografia di riferimento nel settore diagnostico non distruttivo; il vantaggio di questa tecnica, nel caso applicativo specifico, è stato, oltre alla leggerezza dell'apparecchiatura, anche la circostanza per cui, essendo un'investigazione non distruttiva e non invasiva, poteva eseguirsi in modo diffuso (tant'è che sono state eseguite 65 indagini soniche su maglia quadrata di 10 punti con metodo per trasparenza ove possibile - 35 punti e per metodo diretto - nei punti ove la prima metodologia non era applicabile per le condizioni al contorno, quali prossimità alle murature d'ambito, presenza di scale ed arredi, ecc.).

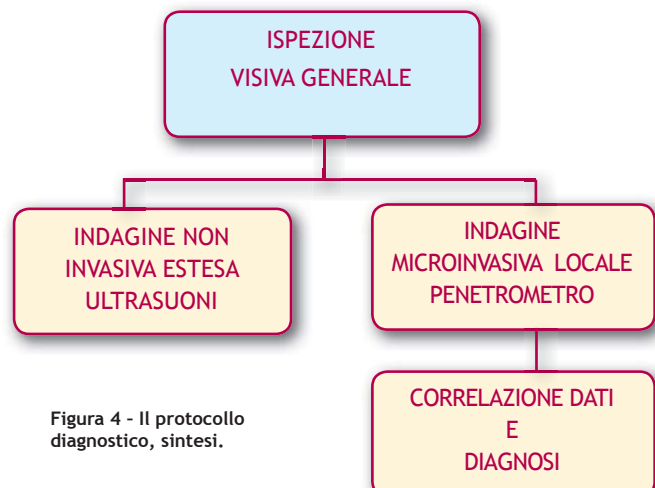


Figura 4 - Il protocollo diagnostico, sintesi.

INDAGINI ULTRASONICHE

Generalità

L'indagine è finalizzata alla conoscenza dei tempi di propagazione di impulsi di vibrazione nelle strutture, fra una o più coppie di punti di rilievo. Con questa prova è possibile misurare la velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici, intesa come rapporto fra la distanza tra i punti di rilievo e tempo di transito impiegato. L'utilizzo di ultrasuoni fornisce informazioni su ciò che si incontra nello spessore attraversato dagli impulsi e quindi sulle parti interne degli elementi in prova.

Questa indagine può essere utilizzata per valutare l'omogeneità del mezzo indagato, con la possibilità di individuare la presenza di vuoti interni o di fessure. Poiché la velocità con cui gli impulsi vibrazionali si propagano in un mezzo è funzione delle caratteristiche elastiche del mezzo (modulo di elasticità e rapporto di Poisson dinamici) e della sua densità, considerato che le disomogeneità (per esempio fessure, zone degradate, cavità, ecc.) fanno variare la velocità di propagazione, riflettendo e rifrangendo l'onda di vibrazione, attraverso le indagini ultrasoniche, si possono valutare:

- stato di degrado delle strutture;
- modulo di elasticità dinamico;
- coefficiente di Poisson dinamico.

Apparecchiatura

L'apparecchiatura è composta da:

1. una sonda emittente impulsi di vibrazioni meccaniche in sincronismo con un segnale elettrico;
2. una sonda ricevente le vibrazioni meccaniche, trasformandole in segnali elettrici;
3. un dispositivo di amplificazione regolabile e di trattamento del segnale emesso dalla sonda ricevente;
4. un dispositivo elettronico di misura dell'intervallo di tempo fra istante di emissione ed istante di ricezione dell'impulso o della parte di esso analizzata.

La misura dei tempi di propagazione degli impulsi di vibrazione viene normalmente eseguita secondo le tre diverse modalità: per trasparenza - semidiretta - indiretta.

Metodi di trasmissione

- a) Metodo di trasmissione diretta (per trasparenza): applicando i trasduttori su due superfici opposte dell'elemento da saggiare.
- b) Metodo di trasmissione semi - diretta (diagonale): applicando i trasduttori su due superfici adiacenti dell'elemento, in genere ortogonali.
- c) Metodo di trasmissione indiretta (superficiale): applicando i trasduttori su una stessa superficie dell'elemento da saggiare.

L'energia del segnale prodotto dalla sonda emittente è normalmente massima nella direzione perpendicolare alla superficie di accoppiamento.

Metodologia di prova

La superficie dell'elemento in prova, nei punti di applicazione delle sonde, deve essere pulita, sufficientemente piana, levigata mediante smerigliatura qualora risulti eccessivamente rugosa per permettere un contatto uniforme con le sonde.

Misura del tempo di propagazione

Lo strumento fornisce sul display digitale il valore del tempo di propagazione, espresso in microsecondi, approssimato all'intero per tempi non minori di 100 μ s, e alla prima cifra decimale per tempi minori di 100 μ s.

Attrezzature utilizzate per la misura del tempo di propagazione

Per la misura del tempo di propagazione delle onde ultrasoniche attraverso il materiale, è stato utilizzato nel caso specifico il rilevatore ad ultrasuoni portatile - modello C368 - fornito di unità elettronica digitale, coppia di cavi, due sonde a contatto da 55 KHz diametro 1". Ha una risoluzione e precisione di 0,16 msec. e un conteggio massimo di 9999 msec.



Figura 5 - Localizzazione indagini ultrasoniche (UL) e penetrometriche (RE), pianta.

La capacità di ottenere con questa tecnologia le risultanze quantitative contestualmente alla prova, ha potuto suggerire in tempo reale la presenza di problemi non riscontrabili all'ispezione visiva e di anomalie su cui programmare un approfondimento conoscitivo locale di dettaglio (fig. 5). La campagna ultrasonica, relativa ai puntoni e alle catene in castagno ha evidenziato valori prossimi a quelli caratteristici delle essenze strutturali dure ($150\mu s < \text{tempi di volo} < 205\mu s$); di contro gli elementi in rovere hanno evidenziato non solo valori di tempi di volo generalmente bassi (tempo di volo medio = $125\mu s$), ma fortemente variabili da punto a punto dello stesso elemento, anche in posizioni piuttosto prossime ($75\mu s < \text{tempo di volo} < 175\mu s$), fornendo così indicazione di un'anisotropia comportamentale del rovere significativamente più incidente del castagno, sebbene la morfologia sembri suggerire un'opposta caratterizzazione. Tali evidenze appaiono ancor più evidenti se si tiene conto che si tratta di capriate di basso livello di vetustà e attacco xilofage solo episodico.

La seconda fase del protocollo diagnostico ha visto pertanto l'esecuzione di 8 prove penetrometriche; 6 sono state localizzate presso i punti, ove peggiori erano le prestazioni dei tempi di volo degli elementi in rovere (tempo di volo $< 75\mu s$) e due in punti caratterizzati da tempi di volo ordinari (tempo di volo $> 175\mu s$), di cui 1 su catena in legno e 1 su catena in castagno, così da disporre di elementi di raffronto nell'analisi qualitativa dell'andamento dei profili resistografici. La prova, sebbene non suscettibile di generalizzazione per il carattere propriamente locale della prova, tuttavia ha dato conferma di una variabilità comportamentale dell'essenza di

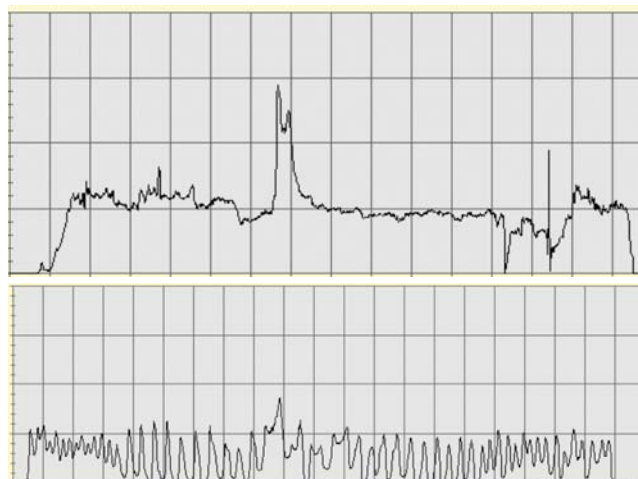


Figura 6 - Profilo resistografico di arcareccio in castagno (sopra) e di puntone in rovere (sotto).

rovere (fig. 6 sopra), che la pone in condizioni di affidabilità minore rispetto ad altre essenze, tra cui il castagno stesso (fig. 6 sotto).

La possibilità di integrazione delle risultanze ultrasoniche con quelle resistografiche non solo ha permesso di dare validazione al protocollo diagnostico programmato, ma anche di confermare l'anomalia comportamentale del rovere a raffronto con il castagno, che già le sole indagini ultrasoniche avevano paventato.

Ciò anche in considerazione del fatto che l'esecuzione delle indagini, presso la copertura di una sala prospiciente, coperta con omologa struttura, ma in castagno, ha portato ad escludere la presenza di una problematica connessa alle condizioni ambientali e termoigrometriche al contorno o ad una inidonea scelta d'intervento.

Difatti l'indagine integrata rilevamento ultrasonico-test penetrometrico sugli elementi in castagno ha fornito risultanze del tutto attese e ragionevoli per una copertura di recente realizzazione e in essenza forte.

Di qui l'evidenza di una variabilità comportamentale del legno di rovere, sia in termini strettamente materici, come evidenziato dalle indagini ultrasoniche, che comportamentali, come appurato, seppure in termini solo qualitativi, tramite le prove penetrometriche, anche alla luce della presenza di un blando attacco biotico (4), consistente in marciume, sebbene di entità notevole, e in un'aggressione xilofage, che all'ispezione visiva, appare avere compromesso solo gli strati corticali, evidentemente più esposti a detto rischio e ricchi di nutrienti, anche se la mancanza di rosime indirizza a ipotizzare che l'attacco fosse terminato o inibito, al momento dell'esecuzione dell'investigazione ispettiva (fig. 7). Le risultanze strumentali integrate, di cui sopra, anche qui hanno dato completezza della circostanza per cui il legno di rovere appare meno durevole, rispetto al castagno, anche nei confronti del rischio biotico fortificando l'ipotesi di una inadeguata affidabilità prestazionale di questa essenza, nel caso di specie.

CONCLUSIONI

La realizzazione di questa campagna diagnostica ex post ha potuto portare a due considerazioni.

In termini generali la possibilità di realizzare delle indagini investigative alla conclusione di un intervento, specialmente se è trascorso un adeguato lasso temporale, può rappresentare un'occasione importante per verificare l'adeguatezza delle scelte di progetto e la rispondenza tra le aspettative ad esso correlate e quanto effettivamente verificatosi.

In secondo luogo si è osservato che la scelta del rovere non ha risposto pienamente ai requisiti tecnici per cui era stato sele-



Figura 7 - Trave interessata da lieve attacco biotico.

INDAGINI RESISTOGRAFICHE

Generalità

Il resistografo permette di individuare le variazioni di densità tra legno sano e legno degradato ed effettuare una diagnosi sul posto di aree di decadimento interno del materiale indagato.

La resistenza opposta alla perforazione dipende principalmente dalla densità del legno. Quest'ultima rappresenta uno dei valori caratteristici del materiale e permette di trarre conclusioni sullo stato di degrado del legno in una particolare sezione.



Tecnica operativa

Lo strumento è composto da un sofisticato trapano, dotato di una punta del diametro di 1.5 mm, che penetra nel legno con movimento combinato di rotazione e avanzamento, a velocità costante. La resistenza incontrata nella penetrazione viene rappresentata in un grafico, composto da un sistema cartesiano piano ortogonale che, sull'asse delle ascisse, misura in cm la profondità di penetrazione della punta del trapano e sull'asse delle ordinate, la resistenza alla penetrazione.

Con questa indagine è possibile individuare i difetti e le patologie dell'elemento analizzato, che, in genere, possono dipendere dalla presenza di nodi, discontinuità tra gli anelli di accrescimento, fessurazioni, patologie del midollo, cavernosità da attacco di insetti, aree interne di decadimento, etc.

Apparecchiatura utilizzata

Per lo svolgimento delle indagini resistografiche in oggetto è stato utilizzato un resistografo da legno IML RESI F400. La profondità di penetrazione è di 385 mm e la definizione del profilo è di 0.1 punti per mm.

zionato e che la letteratura di settore suggeriva, soprattutto se posto in correlazione al castagno.

E' pure necessario evidenziare che detta valutazione non può assumersi a carattere generale, essendo strettamente correlata al caso in specie, e che solo una ragionevole estensione della ricerca a circostanze applicative omologhe può fortificare la validità.

NOTE

(1) Zucconi Galli Fonseca Corrado (a cura di) 1999, *Le mura di Camerino*, atti del Convegno Passeggiata intorno alle mura di Camerino, quaderno n. 32 collana "Camerino, Città e Cultura", Camerino.

(2) Interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro delle parti di Palazzo Da Varano danneggiate dal terremoto del 1997-Progetto esecutivo; Progetto: arch. Gaia Remiddi (capogruppo), arch. Paolo Angeletti, arch. Vittorio Ceradini, arch. Guido Martini, Studio ing. Borsoni; Responsabile del procedimento: Università di Camerino-Divisione tecnica geom. Giuseppe Tomassini; 2002-2003.

(3) La campagna diagnostica strumentale in situ è stata programmata, condotta e validata dalla Sezione SIS (Sezione Indagini in Situ) del Laboratorio di ricerca sperimentale M.A.RE. (Materiali ed Analisi per il restauro) del Dipartimento PAU (Patrimonio Architettonico ed Urbanistico) dell'Università degli studi Mediterranea di Reggio Calabria; si ringrazia pertanto la prof. arch. Simonetta Valtieri, direttore del Lab. M.A.RE.

(4) Si ringrazia il prof. dr. Vincenzo Vacante e il dr. Carmelo Peter Bon-signore, rispettivamente professore associato e ricercato di Entomologia generale e applicata presso l'Università degli studi Mediterranea di Reggio Calabria, per il prezioso coadiuvio nella comprensione delle problematiche biotico-conservative del caso di studio.



Figura 8 - Vista dall'alto del Palazzo da Varano.



Figura 9 - Vista di Camerino da una cartolina storica.

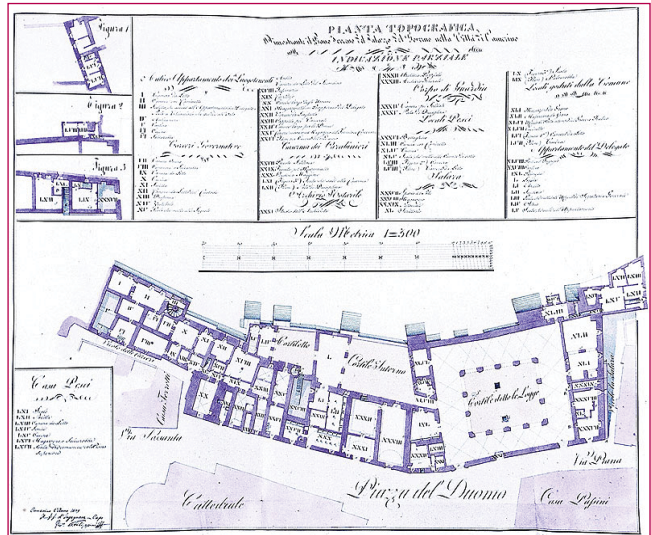


Figura 10 - Pianta topografica.

ABSTRACT

Integrated investigations for monitoring of architectural restoration: the case of a wooden roof of Palazzo Da Varano in Camerino (MC)

The restoration of architectural structure, especially in recent years, has seen an implementation of sensitivity of professionals and practitioners to potentialities of in situ non-destructive diagnostics, especially in reference to possibility of assessment of behavioral characteristics and determination of pathological conditions of materials and technological components of historical buildings, especially of monumental character, and this partly due to entry into force of, although discussed, NNTC'08.

However, if the diagnostics has become quite popular even in current practice of architectural restoration of not significant buildings, this generally appears to turn first to deserve an evaluating support preventative and predictive, aimed to assist during the planning; more rare instead is to use diagnostic technologies in order to evaluate the successful implementation and ongoing correspondence with directions of the project, and even more sporadic is to use NDT in summary phase, in order to realize a ex post monitoring of effectiveness of intervention, both in terms of adequacy of planning choices and correct implementations. The case of the wooden roofs of some rooms of Palazzo Da Varano in Camerino represents an example of how an integrated ex post diagnostics, created with a mapping of extended diagnostic non-invasive ultrasonic tests, and timely analysis with microinvasive penetrometric test, has suggested guidelines on the appropriateness of the intervention carried out and was able to suggest information to establish small local improvements, aimed at dealing with one choice is not entirely suitable kind of wood used for new trusses, such as a replacement of a chain-strut node, before complications such structural problems could escalate into more complex and therefore more costly circumstances, in terms of risks and associated costs.

PAROLE CHIAVE

Diagnostica, legno, restauro, ultrasuoni, penetrometria

AUTORI

VITTORIO CERADINI
VITTORIO.CERADINI@UNIRC.IT

ALESSIA BIANCO
ALESSIA.BIANCO@UNIRC.IT

DIPARTIMENTO PAU, UNIVERSITÀ MEDITERRANEA DI REGGIO CALABRIA

Vittorio Ceradini ha scritto la premessa, la descrizione del caso di studio e le conclusioni, Alessia Bianco è l'autrice del paragrafo La campagna diagnostica: programmazione, esecuzione, risultanze.

BIBLIOGRAFIA

- Augelli F. (2006) *La diagnosi delle opere e delle strutture lignee: le ispezioni*, Saonara: Il prato.
- Aveta A. e Monaco M. (2007) *Consolidamento delle strutture in legno: diagnostica e interventi conservativi Napoli*: Edizioni scientifiche italiane.
- Bianco A. (a cura di) (2010) *La casa baraccata. Guida al progetto e al cantiere di restauro*, Roma: GBeditoria.
- Dalpra M. (2007) *Degrado biotico del legno: riconoscimento e metodi di lotta*, Torino: Piazza.
- Gambetta A. (2010) *Funghi e insetti nel legno: diagnosi, prevenzione, controllo*, Firenze: Nardini.
- Tampone G. (1996) *Il restauro delle strutture di legno: il legname da costruzione, le strutture lignee e il loro studio, restauro, tecniche di esecuzione del restauro*, Milano: Hoepli.
- Valtieri S. (a cura di) (2010) *Atti del Symposium Internazionale "Gli insetti e le opere d'arte lignee: degrado e restauro-Reggio Calabria 8 luglio 2010"*, Roma: GBeditoria.

Light for Art Laser for Conservation

EL. EN.
ELECTRONIC ENGINEERING



SOLUZIONI tecnologiche per il RESTAURO

Il **Gruppo El.En. S.p.A.** contribuisce con i suoi sistemi laser alla conservazione del patrimonio storico e artistico ormai da due decenni, proponendo soluzioni sempre più innovative, sviluppate in collaborazione con i maggiori centri di ricerca nazionali. L'obiettivo dei ricercatori del **Gruppo El.En.** è quello di fornire ai restauratori la più completa e avanzata gamma di prodotti da impiegare sia in laboratorio che in cantiere nelle più diverse e difficili condizioni di lavoro. Affidabilità, praticità, flessibilità, elevate prestazioni e la costante validazione in campo da parte dei maggiori esperti del settore della conservazione, fanno sì che i sistemi laser del **Gruppo El.En.** siano i più diffusi e vengano impiegati nei più importanti cantieri di restauro in Italia e all'estero.

El.En. S.p.A. ELECTRONIC ENGINEERING
www.elengroup.com - conservazione@elen.it

