

LA VALUTAZIONE SPERIMENTALE DEI CONSOLIDANTI PER IL LEGNO

Giorgia Genco¹, Angela Lo Monaco², Claudia Pelosi¹, Rodolfo Picchio²,
Ulderico Santamaria¹

1 Dipartimento di Studi per la Conoscenza e la Valorizzazione dei Beni Storici e Artistici (DISCOVABESA), Università degli Studi della Tuscia - Viterbo

2 Dipartimento di Tecnologie, Ingegneria e Scienze dell'Ambiente e delle Foreste (DAF), Università degli Studi della Tuscia - Viterbo

ABSTRACT: The aim of this work has been to test some commercial products as consolidants of the structure of two wooden species: poplar (*Populus* sp.) and walnut (*Juglans regia* L.). The chosen products are acrylic, epoxy and aliphatic compounds available in commerce and often employed for other applications. The wooden samples have been prepared according to the UNI ISO instructions. The wood characteristic parameters have been measured: density, basic density, shrinkage, porosity, colour. The wooden samples have been artificial aged by means of frost/thaw cycles. The consolidants have been applied to the wood samples aged and not by means of under vacuum immersion. At the end the wood characteristic parameters and the FTIR spectra have been measured to evaluate the product effectiveness for the wood treatment.

KEY-WORD: wood, consolidant, colour, FTIR spectrometry

Introduzione

Lo scopo di questo lavoro, che si è sviluppato nell'ambito di un finanziamento concesso dalla Filas Lazio rivolto ai giovani laureati, è quello di verificare e mettere a confronto alcuni prodotti disponibili in commercio per il consolidamento di provini di legno di pioppo (*Populus* sp.) e di noce (*Juglans regia* L.) sottoposti a deterioramento artificiale tramite cicli di gelo/disgelo. Nello stesso tempo, si è cercato di mettere a punto una metodologia di deterioramento artificiale appropriata e rapida per i campioni di legno da testare. I risultati che si presentano sono chiaramente preliminari e necessitano senza dubbio di ulteriori sperimentazioni su un numero più consistente di campioni al fine di avere dati statisticamente più solidi. Questo lavoro, pertanto, si pone come approccio metodologico per la messa a punto di un metodo di verifica che possa essere poi ulteriormente approfondito. La scelta delle due specie legnose è connessa alla diffusione nei manufatti di interesse storico-artistico e demoetnoantropologico. Il pioppo è una della specie maggiormente riscontrata per supporti di tavole dipinte ed il noce, oltre ad essere discretamente rappresentato nei supporti, è la specie che nel contesto italiano è stata utilizzata per arredi sia di edifici di culto, sia di biblioteche sia di dimore private [1,2]. Inoltre, pur essendo entrambe angiosperme dicotiledoni, presentano caratteristiche anatomiche di distribuzione dei vasi diverse. Il pioppo è a porosità diffusa, caratterizzato da omogeneità di ampiezza dei lumi dei vasi all'interno dell'anello annuale e presenta durame non differenziato. Il noce è a porosità diffusa, ma con un addensamento di vasi di maggiore dimensione nella zona primaticcia dell'anello, inoltre, presenta durame differenziato.

La metodologia di intervento per determinare il deterioramento artificiale ha perseguito lo scopo di non alterare in misura sensibile la massa volumica del legno.

Le alterazioni di origine biotica costituiscono la causa di evidenti danni ai manufatti lignei, indebolendo le strutture. E' il caso dei decori intagliati, dei tavolati lignei dei dipinti, delle statue, nei quali l'azione degli xilofagi può provocare, a seguito delle gallerie larvali, la perdita di leggibilità o la mancanza di sostegno alla pellicola pittorica, oppure delle strutture portanti che a causa di aggressioni fungine perdono la capacità di resistenza meccanica. Infatti, le alterazioni biotiche implicano modificazioni chimiche fisiche e morfologiche e, più specificatamente, anche una diminuzione di massa volumica. Trattare provini alterati naturalmente

avrebbe ingenerato incertezza nella omogeneità del campione, introducendo elementi di variabilità poco prevedibili.

I prodotti, di origine sintetica, selezionati per i trattamenti rappresentano tre tipologie di polimeri (acrilici, epossidici e alifatici) utilizzati largamente nel campo del restauro: *Paraloid B72* è ormai annoverato come uno dei prodotti cardine per il trattamento del legno e, quindi, si pone come riferimento per nuovi prodotti risultato di miscele acriliche con diversi composti, quali sono *Linfosolid* e *Linfoil*. Le resine epossidiche, maggiormente utilizzate nel campo dei lapidei, trovano ampio impiego anche nei manufatti lignei, decoesi a livello macroscopico (fratture, perdita dei costituenti legnosi, attacchi biologici). Infine, le resine alifatiche, di più recente sviluppo, hanno trovato applicazione, oltre che nella formulazione di vernici, anche come blandi consolidanti per il legno [3].

Materiali e Metodi

Le caratteristiche fisiche e meccaniche dei provini sono state determinate secondo le indicazioni riportate nelle relative norme UNI, ISO del settore Legno (Tabella 1).

Tabella 1 – Normativa tecnica di riferimento.

Parametro esaminato	Norma
Massa volumica	UNI ISO 3131
Densità basale	UNI ISO 3131
Ritiro totale radiale e tangenziale	UNI ISO 4469
Ritiro totale volumetrico	UNI ISO 4858
Porosità	vedi [4]
Resistenza a compressione parallela alla fibratura	UNI ISO 3787

In una prima fase sono stati realizzati 39 sbocchi di pioppo e 33 di noce di dimensioni 50x50x400 mm da tavole commerciali, così da ottenere provini con anelli che decorrono perpendicolarmente a due facce opposte del provino finito. Sono stati condizionati in un ambiente idoneo con temperatura di circa 20°C e umidità relativa intorno al 65%, affinché si equilibrassero ad un'umidità del 12%. Sono stati poi ricavati i provini nelle misure confacenti alle prove da eseguire.

Per ogni specie, nelle condizioni tal quali e deteriorate artificialmente, sono state effettuate prove di caratterizzazione dei principali parametri fisici: massa volumica (MV a U_{12} e allo stato anidro U_0), densità basale

(db), ritiro totale (radiale β_{rad} , tangenziale β_{tang} e volumetrico β_{vol}), porosità (P%).

E' stata determinata la resistenza a compressione parallela alla fibratura su provini di legno di misura 20x20x30 mm, sia deteriorati che tal quale, trattati con i prodotti consolidanti presi in esame. Sono state effettuate sei misure per ciascun prodotto, sia sui provini di noce che su quelli di pioppo. La metodologia di deterioramento artificiale è stata realizzata con 5 cicli di gelo/disgelo mediante l'immersione in azoto liquido di 36 provini di dimensione 20x20x30 mm per ciascuna specie, precedentemente portati a saturazione. Ogni trattamento è stato ripetuto a distanza di 4 ore ed i campioni sono rimasti in immersione per 5 minuti.

I prodotti commerciali selezionati per i trattamenti sono:

- *Paraloid B72* (resina acrilica). Per il trattamento dei provini con *Paraloid B72* è stata preparata una soluzione al 5% (m/m) in acetone.

- *Linfoil* (miscela di oli vegetali, resine e cere dure in solvente alifatico). Per il trattamento con *Linfoil* è stata preparata una soluzione in *Linfosolv* (miscela di solventi a base di derivati paraffinici alifatici raffinati ed estratti da agrumi) in rapporto 1:1 (v/v).

- *Linfosolid* (consolidante a base di polimeri acrilici concentrati in miscela di solventi). Per il trattamento con *Linfosolid* è stata preparata una soluzione di *Linfosolid* in *Linfosolv* in rapporto 2:1 (v/v).

- *EPO155* (resina epossidica fluida con indurente *K156* a base di ammine alifatiche modificate). Per il trattamento con *EPO155* è stata preparata una miscela di due componenti, il monomero *EPO155* e l'indurente *K156*, in rapporto 2:1 (m/m).

- *Templum EPO TOP* (resina epossidica cicloalifatica con indurente a base di ammine ciclo alifatiche). Per il trattamento con *Templum EPO TOP* è stata preparata una miscela unendo i due componenti principali, la resina epossidica pura *Templum EPO TOP* e l'indurente *K TOP*, in un rapporto di 1:0,7 (m/m).

- *Regalrez1126* (resina alifatica). Per il trattamento con *Regalrez1126* è stata preparata una soluzione al 10% in White Spirit (m/m).

Ogni consolidante è stato applicato su sei provini di noce ed altrettanti di pioppo di dimensioni 20x20x30 mm, per un totale di 72 provini. Questi sono stati posizionati in modo che la faccia tangenziale risultasse sul piano di appoggio del contenitore con la soluzione consolidante. I prodotti sono stati applicati mediante immersione sottovuoto per 24 ore, ad eccezione delle resine epossidiche. Infatti, nel rispetto dei tempi di lavorabilità,

EPO155 ha avuto un tempo di applicazione di 40 minuti, mentre *Templum EPO TOP* di 45 minuti.

La quantità di consolidante assorbito e trattenuto è stata calcolata come variazione di massa in rapporto al volume dei campioni prima e dopo il trattamento.

Le misure di colore sono state effettuate tramite uno spettrofotometro di riflettanza X-Rite modello SP64, con sfera integratrice, secondo il metodo CIEL*a*b* nelle seguenti condizioni: step di campionamento 10 nm, illuminante C/2°, diametro 8 mm. Le misure sono state realizzate su provini trattati con consolidante (tal quale e deteriorati).

Infine, i provini di noce e pioppo deteriorati, trattati con i prodotti di consolidamento, sono stati sottoposti ad analisi tramite spettrometria micro-FTIR per mezzo di uno spettrometro Nicolet Avatar 360 e microscopio Centaurus con rivelatore MCT operando in riflettanza diffusa. Su ciascun provino sono state effettuate tre misure in tre zone diverse, due esterne ed una interna, in modo da comprendere la distribuzione del prodotto consolidante.

Risultati e discussione

I valori della massa volumica in g/cm^3 sono riportati in Tabella 2. Le tavole utilizzate sono state acquistate in una segheria, una per ogni specie, ma non è stato possibile individuare la provenienza. Si riporta, pertanto, anche il valore medio del legno ritenuto di provenienza nazionale [5].

Tabella 2 – Massa volumica $MV U_{12}$ (g/cm^3)

Specie	MV Media	MV Min	MV Max	dev std	Provini n.	MV [5]
Pioppo	0,43	0,37	0,45	0,200	36	0,33
Noce	0,62	0,56	0,68	0,291	36	0,70

Dopo i cinque cicli di deterioramento i provini mostrano fessurazioni che decorrono lungo la direzione della fibratura. Infatti, l'azoto liquido permette il congelamento immediato del legno che risulta sottoposto ad un forte stress fisico-meccanico che ne causa la rottura (Fig.1).

In tabella 3 si riportano i dati relativi alle caratteristiche fisiche dei provini tal quale (t.q.) e deteriorati (d.).

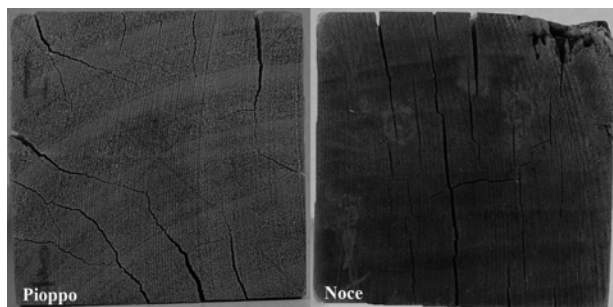


Figura 1 –Provini di pioppo e noce dopo il deterioramento

Tabella 3 – Caratteristiche fisiche dei provini tal quale e deteriorati con azoto liquido. Si riportano i valori medi e la relativa deviazione standard (tra parentesi)

Specie	Provini n.	MV U ₁₂ g/cm ³	MV U ₀ g/cm ³	db g/cm ³	P%	β _{rad}	β _{tang}	β _{vol}
Pioppo	6	0,43	0,39	0,35	0,10	3,54	8,44	11,7
(t.q.)		(0,03)	(0,03)	(0,02)	(0,01)	(0,90)	(3,97)	(3,24)
Pioppo	6	0,39	0,35	0,31	0,10	3,67	6,88	10,3
(d.)		(0,01)	(0,01)	(0,01)	(0,005)	(0,92)	(0,69)	(0,41)
Noce	6	0,59	0,51	0,46	0,11	3,74	6,87	10,4
(t.q.)		(0,01)	(0,01)	(0,01)	(0,004)	(0,26)	(0,34)	(0,31)
Noce	6	0,56	0,40	0,45	0,13	5,06	8,26	12,9
(d.)		(0,03)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(1,15)	(1,42)	(2,34)

Il confronto delle caratteristiche fisiche dei provini tal quale e deteriorati evidenzia una sostanziale omogeneità nella massa volumica, dimostrata dalle variazioni limitate dei valori medi. La porosità è stata misurata per valutare la penetrazione dei consolidanti. Mentre nel caso del pioppo non si riscontra una variazione dal tal quale al deteriorato, per il noce la porosità aumenta, probabilmente in relazione alla costituzione anatomica del legno.

In seguito al trattamento con *Paraloid B72*, è stato registrato un aumento medio di massa volumica del 16,5% per il noce e del 20,2% per il pioppo. Relativamente alle misure colorimetriche, dai dati riportati nelle Tabelle 4 e 5 si riscontrano variazioni totali di colore consistenti nel caso del pioppo (dE=20.6 per i provini deteriorati e trattati) mentre sono più contenute per il noce (dE=8.3). I valori negativi di dL* indicano una generale diminuzione di brillantezza in tutte le tipologie di provini trattati con *Paraloid B72*.

Tabella 4 – Variazioni cromatiche medie dei provini di pioppo, tal quale (t.q.) e deteriorati (d.), in seguito al trattamento con i prodotti consolidanti.

Prodotti	dL* (t.q.)	dE (t.q.)	dL*(d.)	DE(d.)
<i>Paraloid B72</i>	-5,4	8,5	-19,5	20,6
<i>Linfoil</i>	-9,3	11,7	-9,9	12,2
<i>Linfosolid</i>	-8,1	8,2	-18,0	19,1
<i>EPO155</i>	-14,4	17,2	-25,5	26,9
<i>Templum EPO TOP</i>	-9,5	13,1	-18,5	20,9
<i>Regalrez1126</i>	-3,5	4,1	-16,0	16,5

Tabella 5 – Variazioni cromatiche medie dei provini di noce, tal quale (t.q.) e deteriorati (d.), in seguito al trattamento con i prodotti consolidanti.

Prodotti	dL* (t.q.)	dE (t.q.)	dL*(d.)	DE (d.)
<i>Paraloid B72</i>	-11,3	12,6	-6,9	8,3
<i>Linfoil</i>	-15,4	15,8	-13,4	15,3
<i>Linfosolid</i>	-6,0	6,2	-13,5	15,0
<i>EPO155</i>	-18,7	20,1	0,24	23,5
<i>Templum EPO TOP</i>	-4,7	8,8	-17,4	24,0
<i>Regalrez1126</i>	-3,4	4,1	-15,1	21,1

In seguito al trattamento con *Linfoil* è stato registrato un aumento medio di massa volumica del 57,8% per il noce e del 116,2% per il pioppo, indice di una bassa viscosità del prodotto applicato. Anche in questo caso si nota una generale diminuzione di brillantezza (dL* negativi) e variazioni totali di colore consistenti, anche se, nel caso dei provini in pioppo, il valore del dE (dE=12.2) per i provini deteriorati e trattati è inferiore rispetto a quello misurato dopo il trattamento con *Paraloid B72*.

In seguito al trattamento con *Linfosolid* è stato registrato un aumento medio di massa volumica del 22,2% per il noce e del 25,3% per il pioppo. *Linfosolid* ha un potere penetrante minore di *Linfoil* a causa della maggiore viscosità del polimero acrilico rispetto al prodotto di derivazione naturale quale è *Linfoil*. I valori negativi di dL* indicano, anche in questo caso, una notevole diminuzione della brillantezza. I valori del dE risultano elevati, con valori maggiori per il pioppo rispetto al noce.

In seguito all'applicazione di *EPO155* è stato registrato un aumento medio di massa volumica del 40,7% per il noce e del 100% per il pioppo. I valori di dL* risultano elevati e negativi, sia per il noce che per pioppo, ad indicare una notevole diminuzione della brillantezza. Fa eccezione il caso dei provini in noce deteriorati (dL*=0.24): i valori di L* misurati per i provini di noce deteriorati presentano valori fortemente dispersi intorno alla media

(media=40,57, dev std=22,57) che risulta vicina numericamente alla media di L^* dei provini non deteriorati (media=40,33). Il valore del dE evidenzia, invece, la reale differenza di colore dovuta al trattamento con *EPO155*.

In seguito al trattamento con *Templum EPO TOP* è stato registrato un aumento medio di massa volumica del 31,5% per il noce e del 104% per il pioppo. I valori del dL^* e del dE risultano particolarmente elevati nel caso dei provini deteriorati. Per quelli non deteriorati tali valori sono decisamente inferiori anche rispetto a quelli calcolati per *EPO155*. I valori di dL^* sono negativi ad indicare una diminuzione della brillantezza in seguito al trattamento con i prodotti consolidanti.

In seguito al trattamento con *Regalrez1126* è stato registrato un aumento medio di massa volumica del 13,8% per il noce e del 60,4% per il pioppo. I valori del dL^* e del dE presentano andamenti analoghi a quelli sopra discussi per *Templum*.

Nelle Tabelle 6 e 7 sono riportate le resistenze a compressione per il pioppo e per il noce.

Tabella 6 – Resistenza a compressione (σ) dei provini di pioppo tal quale (t.q.) e deteriorati (d.) trattati con i consolidanti.

Prodotti	Provini (t.q.) n.	σ (t.q.) MPa	dev std	Provini (d.) n.	σ (d.) MPa	dev std
Non trattato	6	38,73	3,28	5	37,88	3,35
<i>Paraloid B72</i>	6	44,42	2,86	4	42,88	1,33
<i>Linfoil</i>	6	40,69	1,82	5	35,66	3,87
<i>Linfosolid</i>	6	46,09	4,77	6	43,22	1,30
<i>EPO155</i>	6	42,44	4,12	6	39,89	6,02
<i>Templum</i>	6	51,52	7,58	6	53,35	9,99
<i>Regalrez1126</i>	6	37,84	1,90	6	37,41	2,62

Tabella 7 – Resistenza a compressione (σ) dei provini di noce tal quale (t.q.) e deteriorati (d.) trattati con i consolidanti.

Prodotti	Provini (t.q.) n.	σ (t.q.) MPa	dev std	Provini (d.) n.	σ (d.) MPa	dev std
Non trattato	6	47,30	7,32	6	48,29	3,70
<i>Paraloid B72</i>	6	45,65	5,44	5	41,86	7,14
<i>Linfoil</i>	6	53,40	7,41	6	45,79	8,74
<i>Linfosolid</i>	6	51,41	7,81	6	43,76	8,42
<i>EPO155</i>	6	47,49	7,51	6	46,74	6,65
<i>Templum</i>	6	54,68	6,25	6	57,40	7,96
<i>Regalrez1126</i>	6	45,73	2,68	5	48,61	7,60

La resistenza a compressione mostra che l'azione di consolidamento è stata efficace, in modo particolare con la resina epossidica *Templum EPO TOP* e, limitatamente al noce con la resina *Regalrez1126*.

La lettura degli spettri ottenuti con micro-FTIR non è risultata semplice poichè anche i costituenti del legno presentano assorbimenti nella regione dell'infrarosso, tuttavia registrando gli spettri del legno senza alcun trattamento, quelli delle resine impiegate e quelli del sistema legno-resina e prendendo in considerazione solo i picchi e le bande di maggiore intensità (s=strong e vs= very strong) è stato possibile ottenere dei dati significativi per una valutazione della capacità di penetrazione e distribuzione dei vari consolidanti. Senza dubbio le resine acriliche hanno mostrato una migliore penetrabilità ed, in particolare *Linfoil*, per entrambe le specie legnose. I picchi di questa resina, infatti, sono ben evidenti in tutte e tre le zone misurate, in particolare quelli a 2920(s), 2851(s), 1737(vs) e 1166(s) cm^{-1} . Nel caso del *Paraloid B72* e del *Linfosolid* questi stessi picchi sono presenti ma con intensità inferiore (m=medium e w=weak).

Nel caso del *Regalrez1126* la penetrazione del consolidante è bassa per il noce: nel punto centrale, infatti, i picchi principali della resina a 2920, 2851 e 1447 cm^{-1} sono appena visibili con debole intensità (w) mentre dovrebbero essere forti (s). Invece, nel caso del pioppo questi stessi picchi sono presenti in tutte e tre le aree misurate con intensità comparabile.

Le resine epossidiche, in particolare *Templum EPO TOP*, mostrano una discreta penetrazione nei provini, soprattutto in quelli di pioppo. Negli spettri infrarossi, infatti, sono visibili i picchi principali della resina a 2927, 2878, 1107, 1018, 741 cm^{-1} , che tra l'altro risultano ben definiti poiché non si sovrappongono a quelli del legno.

Conclusioni

I risultati ottenuti segnalano un diverso comportamento nelle due specie. Tuttavia, alcuni dei prodotti testati sembrano risultare efficaci, in termini di consolidamento, per entrambe le specie.

I campioni sottoposti a trattamento mostrano un generale aumento percentuale di massa volumica, più consistente in quelli deteriorati. Un incremento considerevole si ha nei provini trattati con *Linfoil*, a causa del forte potere bagnante e della bassa viscosità, come evidenziato anche dall'analisi micro-FTIR, e in quelli consolidati con le due resine epossidiche. I dati dell'incremento di massa volumica dei provini tal quale si attestano su valori minori, come del resto ci si aspetta su materiale non

degradato. Una buona distribuzione del prodotto si registra nel caso delle resine acriliche che, tuttavia, non conferiscono al legno degradato un miglioramento delle caratteristiche meccaniche. Un adeguato risanamento strutturale della materia è garantito invece dalla resine epossidiche, in particolare da *Templum EPO TOP*, di contro tali prodotti non sempre presentano un buon potere penetrante.

Le misure di colore effettuate prima e dopo il trattamento su provini tal quali e deteriorati, evidenziano, come tendenza generale, una diminuzione di brillantezza. I valori di dE e dL* più bassi si registrano per i provini di noce deteriorati trattati con *Paraloid B72* e per i provini tal quali di entrambe le specie trattati con *Regalrez1126*.

Le resine acriliche e alifatiche hanno mostrato una migliore penetrazione e una buona resa estetica ma un blando effetto consolidante, al contrario le resine epossidiche permettono un consolidamento efficace ma con variazioni cromatiche anche notevoli.

Ringraziamenti

Si ringraziano le ditte GEAL e CTS per aver gentilmente fornito i consolidanti utilizzati nel presente lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. MARETTE (1962), *Connaissance des Primitifs par l'étude du bois*, A. et J. PICARD, Paris.
- [2] M. CIATTI, C. CASTELLI, A. SANTACESARIA (a cura di) (1999), *Dipinti su tavola: la tecnica e la conservazione dei supporti*, Edifir, Firenze.
- [3] L. BORGIOLI, P. CREMONESI (2005), *Le resine sintetiche usate nel trattamento di opere policrome*, Collana I Talenti, Il Prato, Padova.
- [4] P. JENSEN, D. J. GREGORY (2006), Selected physical parameters to characterize the state of preservation of waterlogged archaeological wood: a practical guide for their determination, *Journal of Archaeological Science*, 33, Elsevier, 551-559.
- [5] G. GIORDANO (1981), *Tecnologia del legno*, volume 1, UTET, Torino.