

Coordinatore generale
Luca Uzielli

il **MANUALE**
del **LEGNO**
STRUTTURALE

Vol. I – ISPEZIONE E DIAGNOSI IN OPERA

IL MANUALE DEL LEGNO STRUTTURALE
Vol. I – ISPEZIONE E DIAGNOSI IN OPERA

Coordinatore generale dell'opera
Luca Uzielli

Autori del presente volume
Gabriele Bonamini
Mariangela Noferi
Marco Togni
Luca Uzielli

Art Director
Ida Incoronata Carlone

Impaginazione
Giorgio Montinari
Andrea Zaccaria

Revisione bozze
Laura Cavaliere
Federica Mandato

Revisione grafica
Luciano Cortesi
Roberto Di Iulio

Disegni originali
Lorella Giuseppina Bevilacqua

Realizzazione CD-ROM
Beecom.it

Stampa
Arti Grafiche S.r.l. – Pomezia, Roma

INDICE

1

2

PREFAZIONE

1	VALUTAZIONE TECNOLOGICA	1
1.1	VALUTAZIONE NELLE STRATEGIE DI RESTAURO E CONSERVAZIONE DELLE ANTICHE COSTRUZIONI LIGNEE	2
1.1.1	VANTAGGI DI UN'ADEGUATA VALUTAZIONE TECNOLOGICA DEGLI ELEMENTI PORTANTI DI LEGNO	3
1.2	EVOLUZIONE E TENDENZE	5
1.2.1	TRADIZIONE caratterizzazione fisico-meccanica della "specie legnosa"	5
1.2.2	PASSATO RECENTE classificazione secondo le resistenze meccaniche di "tipi di legname" in dimensione d'uso strutturale	6
1.2.3	PRESENTE valutazione tecnologica in situ di "singoli elementi portanti"	7
1.3	DEFINIZIONE E CAMPO DI APPLICAZIONE	9
1.3.1	DIAGNOSTICA	9
1.3.2	CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA	9
1.3.3	VALUTAZIONE DELLE UNIONI	9
1.3.4	VALUTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO	9
2	FONDAMENTI DI TECNOLOGIA DEL LEGNO APPLICATA AGLI ELEMENTI STRUTTURALI	11
2.1	STRUTTURA DEL LEGNO	13
2.1.1	TESSUTI LEGNOSI	13
2.1.1.1	PARTI DELL'ALBERO E STRUTTURA DEL FUSTO	14
2.1.1.2	ALBURNO E DURAME	15
2.1.1.3	LEGNO PRIMATICCIO E LEGNO TARDIVO	16
2.1.1.4	RAGGI MIDOLLARI O PARENCHIMATICI	16
2.1.2	DIREZIONI E SEZIONI ANATOMICHE FONDAMENTALI	17
2.1.2.1	SCHEMATIZZAZIONE CILINDRICA E MODELLO ORTOTROPICO	17
2.1.2.2	DIREZIONI RIFERITE ALLA STRUTTURA ANATOMICA	17
2.1.3	CARATTERI MACROSCOPICI DEL LEGNO	18
2.1.3.1	ANELLI DI ACCRESCIMENTO	18
2.1.3.2	VENATURA, DISEGNO	19
2.1.3.3	TESSITURA	19
2.1.3.4	FIBRATURA	20
2.2	DIFETTI DEL LEGNO REPERIBILI SUGLI ELEMENTI LIGNEI STRUTTURALI	20
2.2.1	ELEMENTI OTTENUTI DA FUSTI NON RETTILINEI	20
2.2.2	ELEMENTI OTTENUTI DA FUSTI A SEZIONE OVALE	21
2.2.3	ELEMENTI OTTENUTI DA FUSTI ECCESSIVAMENTE RASTREMATI	21
2.2.4	ELEMENTI CHE INCLUDONO BIFORCAZIONI	21
2.2.5	ELEMENTI OTTENUTI DA FUSTI AFFETTI DA LESIONI	22

2.2.6	ELEMENTI CHE INCLUDONO LEGNO CON STRUTTURA ANOMALA	23
2.2.6.1	MIDOLLO	23
2.2.6.2	LEGNO DI REAZIONE	23
2.2.7	ELEMENTI A FIBRATURA INCLINATA	24
2.2.8	NODI	25
2.2.8.1	CONSEGUENZE DELLA PRESENZA DEI NODI NEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	25
2.2.9	CIPOLLATURA	25
2.3	RELAZIONI LEGNO-ACQUA	26
2.3.1	PUNTO DI SATURAZIONE DELLE PARETI CELLULARI	27
2.3.2	IGROSCOPICITÀ DEL LEGNO	27
2.3.2.1	ADSORBIMENTO E DESORBIMENTO	28
2.3.2.2	EQUILIBRIO IGROSCOPICO	28
2.3.3	UMIDITÀ DEL LEGNO: DEFINIZIONI E VALORI NOTEVOLI	29
2.3.3.1	GRADIENTI DI UMIDITÀ	29
2.3.3.2	UMIDITÀ DI EQUILIBRIO, UMIDITÀ NORMALE E ALTRI VALORI NOTEVOLI	29
2.3.3.3	TEMPO DI EQUILIBRAMENTO E FATTORI CHE LO INFLUENZANO	30
2.3.4	RITIRO E RIGONFIAMENTO DEL LEGNO	30
2.3.4.1	ANISOTROPIA DEL LEGNO E RITIRO	30
2.3.4.2	CONSEGUENZE DEI RITIRI	31
2.3.4.3	ACCORGIMENTI, TECNICHE E TRATTAMENTI PER RIDURRE L'ENTITÀ DEI RITIRI E LE LORO CONSEGUENZE	32
2.4	CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEL LEGNAME STRUTTURALE	34
2.4.1	MASSA VOLUMICA	34
2.4.2	PROPRIETÀ DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ	34
2.4.2.1	TRAZIONE PARALLELA ALLA FIBRATURA	36
2.4.2.2	TRAZIONE PERPENDICOLARE ALLA FIBRATURA	36
2.4.2.3	COMPRESSIONE PARALLELA ALLA FIBRATURA	37
2.4.2.4	COMPRESSIONE PERPENDICOLARE ALLA FIBRATURA	37
2.4.2.5	RIFOLLAMENTO PARETI DEI FORI	38
2.4.2.6	TAGLIO	38
2.4.2.7	FLESSIONE	39
2.4.2.8	TENSIONI COMPOSTE, MODULI DI POISSON (PER MEMORIA)	40
2.5	ALTERAZIONE E PROTEZIONE DEL LEGNO	41
2.5.1	GENERALITÀ SUL DEGRADAMENTO DEL LEGNO	41

INDICE

2

3

2.5.2	AGENTI NON BIOLOGICI	41
2.5.2.1	LUCE VISIBILE, RAGGI U.V. E RADIAZIONI DI ALTRO TIPO	41
2.5.2.2	TEMPERATURA	42
2.5.2.3	AGENTI CHIMICI	42
2.5.3	AGENTI BIOLOGICI	42
2.5.3.1	FUNGHI	43
2.5.3.2	INSETTI	46
2.5.4	DURABILITÀ NATURALE DEL LEGNO	49
2.5.4.1	CLASSI DI DURABILITÀ	49
2.5.4.2	CLASSI DI RISCHIO BIOLOGICO	50
2.5.5	MIGLIORAMENTO DELLA DURABILITÀ DEL LEGNO: TRATTAMENTI PRESERVANTI	51
2.5.5.1	PROTEZIONE E PRESERVAZIONE DEL LEGNO	51
2.5.5.2	CRITERI PER LA SCELTA DEL TRATTAMENTO PRESERVANTE	52
2.5.5.3	REQUISITI PER L'EFFICACIA DI UN TRATTAMENTO	54
2.5.5.4	AVVERTENZE PER L'USO DEI PRODOTTI PRESERVANTI	54
2.5.5.5	METODI DI APPLICAZIONE PROPONIBILI PER LEGNAME STRUTTURALE IN OPERA	54
3	PROTOCOLLO PER LA VALUTAZIONE TECNOLOGICA	57
3.1	CAMPO DI APPLICAZIONE DELLA VALUTAZIONE TECNOLOGICA	59
3.1.1	FASI OPERATIVE E REQUISITI DI COMPETENZA TECNICA	59
3.2	ESECUZIONE DELLA FASE DIAGNOSTICA	60
3.2.1	CONDIZIONI PRELIMINARI	60
3.2.2	FASI LOGICHE DELL'INDAGINE DIAGNOSTICA	63
3.2.3	SCELTA DELLE METODOLOGIE DIAGNOSTICHE	63
3.2.4	CONDUZIONE PRATICA DELL'ESAME O ISPEZIONE VISUALE	63
3.2.4.1	IDENTIFICAZIONE DELLA SPECIE LEGNOSA	64
3.2.4.2	VALUTAZIONE DEI DIFETTI E CARATTERISTICHE NATURALI DEL LEGNO	65
3.2.4.3	VALUTAZIONE DELLE ZONE DEGRADATE E A RISCHIO DI ATTACCO BIOLOGICO	66
3.2.4.4	VALUTAZIONE DEI DANNI DERIVANTI DALL'AZIONE DI SOVRACCARICHI	70
3.2.4.5	VALUTAZIONE DELLE ATTUALI CARATTERISTICHE DI MASSA VOLUMICA, RESISTENZA E MODULO DI ELASTICITÀ DELLA TRAVE	72
3.2.4.6	FATTORI ORDINARIAMENTE SOPRAVALUTATI, DI NORMA TRASCURABILI	73
3.2.5	ATTREZZATURE DI SUPPORTO ORDINARIO ALL'ISPEZIONE VISUALE	73
3.2.6	CONDUZIONE PRATICA DELLE DIAGNOSI STRUMENTALI COMPLEMENTARI	74
3.2.6.1	MISURE DI UMIDITÀ SUL LEGNO IN OPERA	74

3

4

3.2.6.2	CAROTAGGI E FORATURE DI TIPO ORDINARIO	77
3.2.6.3	SONDAGGI DI ALTRO TIPO	70
3.2.6.4	PROVA DI CARICO	78
3.2.6.5	VIBRAZIONI	78
3.2.6.6	TEMPO DI PROPAGAZIONE DI ONDE ELASTICHE NEL LEGNO	78
3.2.6.7	RADIOGRAFIE E SIMILI	79
3.3	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI	80
3.3.1	VALUTAZIONE DELLA SEZIONE RESISTENTE	80
3.3.2	VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL LEGNO	80
3.3.2.1	TENSIONI DI ESERCIZIO	80
3.4	PROTOCOLLO SUPPL. PER LA VALUTAZIONE TECNOLOGICA DI NODI STRUTTURALI E DI STRUTTURE NEL LORO COMPLESSO	82
3.4.1	VALUTAZIONE DEI NODI STRUTTURALI	82
3.4.1.1	UNIONI AD ANGOLO (TIPO PUNTONE-CATENA)	82
3.4.1.2	GIUNTI A MEZZA GROSSEZZA, CON RISALTO, A CODA DI RONDINE	83
3.4.1.3	UNIONI CON CAVIGLIE DI LEGNO	84
3.4.2	VALUTAZIONE DELLO STATO DI TENSIONE INTERNA	85
3.4.2.1	TENSIONI IN UN ELEMENTO STRUTTURALE	85
3.4.2.2	METODI TRADIZIONALI	85
3.4.2.3	METODO DELL'ESTENSIMETRO	85
4	STRUMENTI E PROVE PER LE INDAGINI COMPLEMENTARI	87
4.1	STRUMENTI E PROVE PER LE MISURE DI UMIDITÀ	89
4.1.1	IGROMETRI DA LEGNO	89
4.1.1.1	MISURATORI ELETTRICI A RESISTENZA	89
4.1.1.2	MISURATORI ELETTRICI A RADIOFREQUENZA	90
4.1.2	IGROMETRI DA AMBIENTE	91
4.1.2.1	TERMOIGROGRAFO	91
4.1.2.2	SONDE TERMOIGROMETRICHE	91
4.2	STRUMENTI E PROVE PER SONDAGGI IN PROFONDITÀ NEL LEGNO	92
4.2.1	TRIVELLA DI PRESSLER	92
4.2.2	CAROTATORI	92
4.2.3	ENDOSCOPIO	92
4.3	STRUMENTI E PROVE PER LA STIMA LOCALE DELLA MASSA VOLUMICA DEL LEGNO MEDIANTE SONDAGGI IN PROFONDITÀ	93
4.3.1	RESISTENZA ALLA FORATURA CON TRAPANO STRUMENTATO	93

MANUALE DEL LEGNO STRUTTURALE

INDICE

4

5

6

4.3.2	PENETRAZIONE DINAMICA DEL LEGNO	94
4.3.3	RESISTENZA ALL'ESTRAZIONE DELLA VITE	95
4.3.4	PENETRAZIONE STATICA DEL LEGNO	96
4.4	STRUMENTI E PROVE PER LA DETERMINAZIONE DI MODULI DI ELASTICITÀ	97
4.4.1	CORRELAZIONE FRA MODULO DI ELASTICITÀ E RESISTENZA	97
4.4.1.1	METODI PER RISALIRE DA E_{medio} ALLE TENSIONI AMMISSIBILI O AI VALORI CARATTERISTICI DI RESISTENZA	97
4.4.2	METODI STATICI	97
4.4.2.1	PROVE DI CARICO	97
4.4.3	METODI DINAMICI	97
4.4.3.1	VIBRAZIONI LIBERE E FORZATE	98
4.4.3.2	PROPAGAZIONE DI ONDE ELASTICHE NEL LEGNO	99
4.5	STRUMENTI E PROVE DI TIPO AVANZATO (PER MEMORIA)	99
4.5.1	RADIOGRAFIE E SIMILI	102
4.5.2	TERMOGRAFIA	102
4.5.3	TECNICHE DI DATAZIONE DEL LEGNO	102
4.5.3.1	DENDROCRONOLOGIA	102
4.5.3.2	SPETTROSCOPIA MOLECOLARE	102
5	CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA DEL LEGNAME IN OPERA	103
5.1	PRINCIPI E APPLICAZIONI DELLA CLASSIFICAZIONE A VISTA	105
5.1.1	DEFINIZIONI	107
5.1.1.1	IL SISTEMA SEMPLIFICATO DELLE CLASSI DI RESISTENZA	107
5.1.2	REGOLE DI CLASSIFICAZIONE	108
5.1.2.1	CARATTERISTICHE INFLUENTI SULLA RESISTENZA E RELATIVE LIMITAZIONI	108
5.1.2.2	NORME DI PRATICA APPLICAZIONE IN ITALIA	109
5.1.3	TENSIONI AMMISSIBILI E VALORI CARATTERISTICI ATTRIBIBILI AL MATERIALE CLASSIFICATO	111
5.1.4	REGOLE DI CLASSIFICAZIONE – TABELLE RIASSUNTIVE	112
5.1.5	TABELLE VALORI CARATTERISTICI E TENSIONI AMMISSIBILI	113
5.2	LIMITI NELL'APPLICABILITÀ AGLI ELEMENTI IN OPERA DELLA CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA	116
5.2.1	PROBLEMA DELLA POSIZIONE DELLA SEZIONE CRITICA AI FINI DELLA DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA	118
5.2.2	PROBLEMA DELLA RESISTENZA DEL LEGNO ANTICO E DEL LEGNO NUOVO	118
6	APPENDICI	119
6.1	APPENDICE A: SVILUPPI E TENDENZE NELLA PROCEDURA DI CLASSIFICAZIONE DEL LEGNAME IN OPERA	121
6.2	APPENDICE B: REGOLE PER LA CLASSIFICAZIONE A VISTA SECONDO LA RESISTENZA PER LEGNAMI ITALIANI IN OPERA	123
6.3	BIBLIOGRAFIA	124