

# Appunti per le Costruzioni in legno

Concezione, normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere



## Indice

INTRODUZIONE A CURA DI ASSOLEGNO & CONLEGNO .....	6
<b>1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>9</b>
1.1 GENERALITÀ.....	9
1.2 CONTENUTI.....	9
<b>2 NORMATIVA DI SETTORE .....</b>	<b>10</b>
2.1 GENERALITÀ.....	10
2.2 PARAGRAFO 4.4 “COSTRUZIONI IN LEGNO” PROGETTAZIONE E COEFFICIENTI DI SICUREZZA.....	10
2.2.1 RESISTENZA DI PROGETTO .....	10
2.2.2 CARICO DA NEVE E CLASSI DI SERVIZIO.....	12
2.2.3 ANALISI DELLE VIBRAZIONI.....	14
2.3 PARAGRAFO 7.7 – COSTRUZIONI IN LEGNO & PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA .....	15
2.3.1 ASPETTI CONCETTUALI DELLA COSTRUZIONE IN LEGNO .....	15
2.3.2 MATERIALI, PROPRIETÀ DISSIPATIVE E FATTORI DI COMPORTAMENTO.....	16
2.3.3 STRUTTURA A PARETI PORTANTI INTELAIATE E COEFFICIENTE DI COMPORTAMENTO .....	17
2.3.4 STRUTTURE MISTE.....	18
2.3.5 MEMBRATURE IN FALSO .....	19
2.3.6 DIAFRAMMI DI LEGNO E PIANO RIGIDO .....	20
2.4 CAPITOLO 8: ESISTENTE .....	21
2.4.1 SOPRAELEVAZIONI E INTERVENTI DI ADEGUAMENTO .....	22
2.5 CAPITOLO 11.7 – MATERIALI E PRODOTTI A BASE LEGNO .....	23
2.5.1 ATTESTATI DI QUALIFICAZIONE: FABBRICANTI E CENTRI DI LAVORAZIONE .....	24
2.5.2 DOCUMENTAZIONE ACCOMPAGNATORIA.....	25
2.5.3 LA FIGURA DEL COSTRUTTORE.....	26
2.5.4 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE .....	28
<b>3 CONCEZIONE INGEGNERISTICA DELL’OPERA E PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA.....</b>	<b>32</b>
3.1 CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE.....	32
3.2 PROGETTAZIONE IN CAPACITÀ .....	32
3.3 REGOLE DI DUTTILITÀ PER LE ZONE DISSIPATIVE .....	34
3.4 SISTEMI COSTRUTTIVI E FATTORI DI COMPORTAMENTO.....	36
3.5 SISTEMI COSTRUTTIVI E REGOLE DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE.....	38
3.5.1 EDIFICI A PANNELLI DI TAVOLE INCOLLATE A STRATI INCROCIATI (XLAM) .....	38
3.5.2 EDIFICI A TELAIO LEGGERO.....	49
3.5.3 EDIFICI LOG HOUSE O BLOCK HAUS.....	55
3.5.4 EDIFICI A TELAIO RESISTENTE A MOMENTO.....	58
3.6 VERIFICHE DI SICUREZZA .....	58
<b>4 CONCEZIONE TECNOLOGICA DELL’OPERA IN LEGNO .....</b>	<b>60</b>
4.1 GENERALITÀ.....	60
4.2 CARICO DI UMIDITÀ: “MOISTURE DESIGN” .....	62
4.2.1 UMIDITÀ, CLASSI DI SERVIZIO E CLASSI DI UTILIZZO.....	62
4.2.2 CLASSE DI UTILIZZO E CLASSE DI DURABILITÀ.....	66
4.3 SORGENTI DI UMIDITÀ PER UN’OPERA DI INGEGNERIA.....	67
4.4 MECCANISMI DI MIGRAZIONE DELL’ACQUA ALL’INTERNO DELL’EDIFICIO .....	67
4.5 MOISTURE DESIGN E L’EDIFICIO IN LEGNO .....	68
4.5.1 CONTROLLO DELL’ACQUA PIOVANA .....	68
4.5.2 LINEE DI DIFESA.....	72
<b>5 NODI COSTRUTTIVI E PARTICOLARI DI ESECUZIONE .....</b>	<b>78</b>
5.1 PREMessa.....	78
5.1.1 ATTACCO A TERRA: GENERALITÀ.....	78
5.2 ATTACCO SERRAMENTO.....	88
5.2.1 PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEL DAVANZALE .....	90
5.2.2 ULTERIORI INDICAZIONI CIRCA IL DAVANZALE .....	91
5.2.3 MESSA IN OPERA DEL DAVANZALE CON DUE SUPERFICI DRENANTI .....	93
5.2.4 IL RACCORDO CON LA FINESTRA.....	94

5.2.5	IL RACCORDO DEI PROFILI GUIDA PER TAPPARELLE E FRANGISOLE .....	95
5.2.6	CURA E MANUTENZIONE .....	96
5.3	ATTACCO BALCONE – PRINCIPI DI ESECUZIONE .....	96
5.3.1	LA CORRETTA CONCEZIONE DELLA STRUTTURA.....	97
5.3.2	AZIONI PER PROTEGGERE LA STRUTTURA IN CORRISPONDENZA DEI FORI ARCHITETTONICI.....	97
5.3.3	PROTEGGERE IL PERIMETRO.....	98
5.3.4	INSTALLARE GUAINA A PROTEZIONE E POSA DEI PROFILI A “T” .....	99
5.3.5	POSA DEGLI ANCORAGGI AL PARAPETTO E GETTO DELLA SOLETTA IN CALCESTRUZZO .....	100
5.3.6	ULTERIORI CONSIDERAZIONI .....	101
5.4	COPERTURE PIANE.....	102
5.4.1	TETTO PIANO “CALDO” .....	102
5.4.2	TETTO FREDDO.....	103
5.4.3	TETTO “INVERTITO” .....	103
5.4.4	LE REGOLE PER UNA CORRETTA REALIZZAZIONE DI UNA COPERTURA PIANA .....	104
5.5	SIGILLATURA DEI SANITARI .....	106
5.6	CAMINI E CANNE FUMARIE.....	109
5.6.1	DISTANZA DAI MATERIALI COMBUSTIBILI .....	112
5.6.2	SISTEMI INTUBATI.....	113
5.6.3	IL COMIGNOLO E QUOTA DI SBOCCO .....	114
5.6.4	CONTATTO UMANO ACCIDENTALE .....	115
5.6.5	TENUTA ALL’ARIA E IMPERMEABILIZZAZIONI.....	116
5.6.6	INSTALLAZIONI VIETATE .....	117
5.6.7	CONTROLLI FINALI DELL’INSTALLATORE DI IMPIANTI SANITARI E DEL FUMISTA .....	117
5.6.8	DOCUMENTAZIONE PER LO SPAZZACAMINO.....	118
5.6.9	COLLAUDO DELLO SPAZZACAMINO .....	118
<b>6</b>	<b>GESTIONE DEL CANTIERE PER LE OPERE DI INGEGNERIA IN LEGNO .....</b>	<b>119</b>
6.1	GENERALITÀ.....	119
6.2	OPERE IN LEGNO.....	121
6.2.1	BUONE PRATICHE DI CANTIERE .....	122
6.2.2	QUANDO SI MANIFESTANO GLI ERRORI .....	123
6.3	SITUAZIONI TRANSITORIE IN CANTIERE .....	126
6.3.1	PROTEZIONE CONTRO IL FUOCO: UN OVERVIEW SULLA REGOLAMENTAZIONE.....	127
6.3.2	CANTIERE E FUOCO .....	130
6.3.3	CANTIERE ED EVENTI ATMOSFERICI .....	132
6.3.4	GESTIONE DEL MATERIALE E PROTEZIONE DEL CANTIERE.....	132
6.3.5	PROCESSO DI REALIZZAZIONE E PREVENZIONE DEL DEGRADO BIOLOGICO.....	132
6.4	RELAZIONI STRUTTURA E IMPIANTISTICA.....	136
6.5	ELETTRICITÀ E RISCHIO DI INCENDIO.....	142
6.5.1	ACCORGIMENTI E MATERIALI .....	142
<b>7</b>	<b>GESTIONE DI UN CANTIERE MULTIPIANO IN LEGNO: UN CASO REALE .....</b>	<b>145</b>
7.1	INTRODUZIONE .....	145
7.2	IL CASO DEL CANTIERE DEL BROCK COMMONS.....	146
7.2.1	DESCRIZIONE DELL’OPERA .....	146
7.2.2	COMPONENTI UMIDE DEL CANTIERE: REALIZZAZIONE .....	149
7.2.3	REALIZZAZIONE DELL’OSSATURE PORTANTE IN LEGNO .....	149
7.2.4	GESTIONE DEL RISCHIO DI INCENDIO .....	152
7.2.5	CANTIERE E UMIDITÀ .....	153
<b>8</b>	<b>MANUTENZIONE DI UN EDIFICIO IN LEGNO: UN ESEMPIO DI LIBRETTO .....</b>	<b>155</b>
8.1	INTRODUZIONE E CONCETTI GENERALI.....	155
8.2	LA SICUREZZA DURANTE LE OPERAZIONI DI ISPEZIONE E MANUTENZIONE .....	156
8.3	MANUALE D’USO .....	156
8.3.1	CARICHI .....	156
8.3.2	FORATURE.....	157
8.3.3	ARREDI .....	157
8.3.4	CONTROLLO DELL’UMIDITÀ E MICROCLIMA INDOOR (VENTILAZIONE).....	158
8.3.5	ACQUE METEORICHE: CANALI DI GRONDA E PLUVIALI.....	159

8.3.6	BOCCHIE DI AREAZIONE .....	159
8.3.7	GESTIONE DEL VERDE .....	159
8.3.8	CAMINO E CANNA FUMARIA .....	159
8.3.9	PREVENZIONE INCENDI .....	160
8.4	PROGRAMMA E MANUALE DI MANUTENZIONE .....	161
8.5	ESTERNO DELL'ABITAZIONE .....	161
8.5.1	IL TETTO .....	161
8.5.2	ISPEZIONE DELLE GRONDE, PLUVIALI E SMALTIMENTO ACQUE METEORICHE.....	163
8.5.3	CAPPOTTO E SUPERFICI ESTERNE DELL'EDIFICIO.....	163
8.5.4	BALCONI E AGGETTI.....	165
8.5.5	FORI ARCHITETTONICI (PORTE, PORTE-FINESTRE E FINESTRE) .....	167
8.5.6	FACCIAE IN LEGNO.....	168
8.5.7	INTERCAPEDINI .....	169
8.5.8	OPERE IN CALCESTRUZZO ARMATO .....	170
8.5.9	OPERE IN FERRO.....	170
8.6	INTERNO DELL'ABITAZIONE .....	171
8.6.1	SOTTOTETTO.....	171
8.6.2	BAGNO, APPARECCHI SANITARI E CUCINA .....	172
8.6.3	RASATURE E FINITURE.....	173
8.6.4	PORTE E FINESTRE .....	174
8.6.5	IMPIANTO IDRICO.....	175
8.6.6	IMPIANTO A GAS.....	175
8.6.7	IMPIANTO ELETTRICO.....	176
8.6.8	IMPIANTO VMC.....	177
8.7	ULTERIORI CONTROLLI.....	177
8.7.1	CONTROLLO DELLE TERMITI .....	177
8.7.2	ISPEZIONE A SEGUITO DI TERREMOTO.....	178
8.7.3	ISPEZIONE A SEGUITO DI INCENDIO .....	179
8.8	COLLAUDI PROGRAMMATI .....	179
8.8.1	PRIMO STEP: ISPEZIONE DELL'EDIFICIO POST REALIZZAZIONE (COLLAUDO INIZIALE) .....	179
8.8.2	SECONDO STEP: ISPEZIONE DELL'EDIFICIO DOPO UN ANNO .....	180
8.9	SCHEDA 1: RAPPORTO DI ISPEZIONE E MANUTENZIONE.....	181
<b>9</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>	<b>183</b>
9.1	PUBBLICAZIONI .....	183
9.2	NORME DI PRODOTTO.....	184
9.3	ADESIVI .....	184
9.4	CONNETTORI METALLICI .....	184
9.5	DURABILITÀ.....	184
9.6	NORME DI CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA.....	185
9.7	PROGETTAZIONE .....	185
9.8	ALTRE.....	185

## INTRODUZIONE A CURA DI ASSOLEGNO & CONLEGNO

La revisione del presente manuale nasce dall'esigenza di un sempre più stretto confronto tra settore professionale e i soggetti imprenditoriali della filiera. Uno degli scopi di Assolegno, nel prossimo futuro, è infatti quello di divenire una piattaforma aperta che sappia coniugare esigenze di carattere industriale a quelle normative, professionali e di qualità del costruito.

Tutto questo non può avvenire se non attraverso un lavoro intenso della struttura su tutti i tavoli dedicati al nostro settore: partendo da quanto elaborato in sede di Ministero delle Infrastrutture, passando dal Comitato Europeo di Normazione e arrivando ad un processo di incontro con le aziende associate attraverso i servizi offerti insieme a Conlegno.

Una sinergia, questa, che ha portato nel tempo allo sviluppo del protocollo certificativo S.A.L.E. (Sistema Affidabilità Legno Edilizia) che di fatto ha cercato di colmare un vuoto nel settore del credito e assicurativo.

Al contempo, partendo da un'esigenza, sia Conlegno che Assolegno hanno deciso di concentrare le forze su tale progetto come elemento strategico per il settore della bioedilizia al fine di procedere ad una valorizzazione delle maestranze specializzate del comparto legno strutturale i definendo contestualmente dei criteri minimi dei costruttori in termini di requisiti tecnico-organizzativi.

Tutto questo alla luce delle tendenze attualmente in essere che spingono l'edilizia in legno verso soluzioni multipiano, e in considerazione delle proprietà del nostro materiale in termini di sostenibilità, isolamento e sicurezza abitativa, , diviene fondamentale che tutti i soggetti della filiera si dimostrino la volontà di puntare sulla qualità del costruito, come elemento distintivo del mercato edile.

Fondamentale diventa quindi il contributo dei progettisti strutturali, spesso non adeguatamente considerati, nonostante l'importanza del ruolo che rivestono. Un edificio multipiano in legno resta innanzitutto, anche se non solo, un'opera importante di ingegneria strutturale, non paragonabile a quello della normale edilizia residenziale.

Non solo però sicurezza abitativa, ma nel caso di edifici a struttura di legno possono essere individuati almeno 6 i motivi di sostenibilità: sostenibilità storica (architettonica), sostenibilità ambientale (paesaggio), sostenibilità del materiale, sostenibilità di utilizzo, sostenibilità energetica (efficienza), benessere abitativo.

Infine una nota circa l'attuale evoluzione normativa nazionale che la vede sempre più vicina agli Eurocodici di riferimento: tale importante passo può portare il settore delle costruzioni di legno in Italia a competere a tutto campo con quelli dei paesi europei più avanzati.

Infatti l'armonizzazione normativa, che le recenti disposizioni legislative hanno apportato, rendendo di fatto le NTC 2018 il riferimento univoco per il mondo delle costruzioni di legno in Italia, non potrà che dare ulteriore impulso agli operatori del settore, se questi, con senso di autodisciplina, sapranno cogliere le aperture del legislatore per migliorare la qualità del costruito.

Marco Vidoni

Presidente di Assolegno

Milena De Rossi

Coordinatore Comitato Tecnico Legno Strutturale di Conlegno

*“Ma, oltre a queste osservazioni, mi sembra opportuno concludere osservando in via generale che, relativamente ai metodi di calcolo e alle normative, si debba evitare di dar loro importanza eccessiva, per non mettere in ombra la progettazione vera e propria. La quale ha nel calcolo soltanto una delle sue fasi, seppure fondamentale, mentre trova in altre questioni aspetti altrettanto qualificanti: intendo soprattutto la concezione generale delle strutture; l’armonica distribuzione delle masse; i particolari costruttivi; l’analisi dei problemi esecutivi e dei costi; l’esame critico del comportamento generale della costruzione comprendente anche, e non secondariamente, la presenza di elementi non strutturali e della parte del terreno coinvolta dalla struttura. Fatti, questi, che debbono entrare nel vivo del processo progettuale, divenendo una forza unica e ogni volta diversa. Fatti che non possono essere unitariamente colti da elaborazioni numeriche e computers come invece può riuscire a fare la mente umana con gli insostituibili ausili, peculiari soltanto ad essa, dell’intuizione, dell’inventiva, della fantasia, della creatività.*”

*Vi ringrazio per la pazienza e l’attenzione con le quali mi avete ascoltato e Vi rinnovo il più cordiale saluto.”*

Prof. Emerito Piero Pozzati

Università di Bologna

1922- 2015



# 1 INTRODUZIONE

## 1.1 GENERALITÀ

Oggi il settore delle costruzioni in legno può vantare un ampio e strutturato panorama normativo, rinnovato dal recente aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, all'interno del quale il progettista, così come il Direttore Lavori e Collaudatore e impresa trovano i riferimenti per concepire, dimensionare e verificare le opere.

Le analisi numeriche e le relative modellazioni sono strumento indispensabile per analizzarne il comportamento statico e garantire la stabilità delle stesse. È però altrettanto importante che vi siano anche una serie di accorgimenti di carattere costruttivo, prevalentemente di tipo tecnologico, in modo che sia tenuto debitamente conto delle peculiarità del materiale e garantita una razionale manutenzione dell'opera secondo quanto definito dalla Normativa corrente.

È pertanto importante, ed è scopo principale di questa pubblicazione, fornire esempi utili di buone pratiche di gestione del processo edilizio e delinearne casistiche esemplificative atte a concepire ed eseguire correttamente opere di ingegneria in legno.

## 1.2 CONTENUTI

La presente pubblicazione introduce in modo schematico i seguenti aspetti:

- **Capitolo 2 ("Normativa di riferimento")**: il capitolo riporta una panoramica legislativa a seguito dell'introduzione della revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni e della pubblicazione della Circolare Esplicativa dedicata al settore del legno strutturale;
- **Capitolo 3 ("Concezione ingegneristica dell'opera e progettazione in zona sismica")**: la presente sezione riporta gli aspetti tecnici principali per definire un corretto approccio alla progettazione in zona sismica. Inoltre lo stesso capitolo include parte degli aggiornamenti presenti nella revisione dell'EC8 (parte legno);
- **Capitolo 4 ("Concezione Tecnologica dell'opera in legno")**: in via complementare al capitolo 3, all'interno dei paragrafi qui compresi si evidenzia l'importanza di concepire correttamente l'edificio sotto il punto di vista "tecnologico" e del "moisture design" (regola delle "4D").
- **Capitolo 5 ("Nodi costruttivi e particolari di esecuzione")**: viene qui riportato focus su quei nodi costruttivi che possono essere oggetto con maggior frequenza di interventi di manutenzione straordinaria. Inoltre vengono illustrate le modalità con cui a livello progettuale e realizzativo possono essere prese le adeguate precauzioni al fine di delineare una manutenzione in linea con le aspettative della committenza e con la vita nominale dell'opera stessa.
- **Capitolo 6 ("Gestione del cantiere per le opere di ingegneria in legno")**: nel presente capitolo è riportata una sintesi di buone prassi, nonché specifici approfondimenti dedicati ai rapporti esistenti tra struttura e impiantistica;
- **Capitolo 7 ("Gestione di un cantiere multipiano in legno: un caso reale")**: la sezione 7 del manuale è un approfondimento tecnico – realizzato attraverso il contributo della British Columbia – degli aspetti salienti relativi all'organizzazione di un cantiere di un'opera multipiano in legno. Nel caso in questione si fatto riferimento all'edificio "Brock Commons".
- **Capitolo 8 ("Manutenzione di un edificio in legno: un esempio di libretto")**: si è ritenuto utile riportare un esempio di libretto di uso e manutenzione di un edificio generico in legno che possa essere di riferimento per i committenti, le imprese e professionisti;

## 2 NORMATIVA DI SETTORE

### 2.1 GENERALITÀ

Il 2018 sicuramente da un punto di vista normativo è stato un anno intenso di novità; a tal proposito le rinnovate Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui il DM 17.01.18, hanno definito un nuovo quadro di riferimento a livello progettuale, produttivo e cantieristico.

Inoltre il giorno 11 febbraio 2019 è stata pubblicata la Circolare Esplicativa del C.S.LL.PP. n. 7 del 21 Gennaio 2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018". Lo stesso documento può avere per il settore un significato strategico, soprattutto alla luce delle numerose delucidazioni che lo stesso elaborato del Consiglio Superiore definisce in materia di progettazione, dialogo con l'esistente, procedure di qualificazione delle imprese e accettazione del materiale in cantiere.

Di seguito, si cercherà – in relazione ai principali paragrafi di interesse per il settore legno e alle principali novità introdotte – di fornire una lettura congiunta tra quanto indicato nelle NTC 2018 e quanto definito all'interno della medesima Circolare Esplicativa richiamata sopra.

Il taglio (volutamente schematico) vuole facilitare sia il tecnico nell'applicazione dei principali adempimenti di legge che l'industria di settore in un dialogo più stretto con gli altri attori della filiera, compresi quindi gli uffici territoriali deputati al rilascio delle autorizzazioni necessarie alla cantierizzazione dell'opera.

### 2.2 PARAGRAFO 4.4 "COSTRUZIONI IN LEGNO" PROGETTAZIONE E COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Il paragrafo in questione si definiscono i criteri ai fini del dimensionamento, valutazione del comportamento e della resistenza di opere realizzate attraverso l'utilizzo di prodotti in legno ad uso strutturale (oggetto quindi di qualificazione, certificazione e denuncia di attività così come meglio indicato all'interno del par. 11.7 descritto di seguito).

Di seguito - rimandando a letture successive del nuovo corpo normativo – si riportano esclusivamente le maggiori novità introdotte dalle prossime NTC.

#### 2.2.1 RESISTENZA DI PROGETTO

Il paragrafo 4.4 delle NTC 2018, rispetto alla precedente versione delle Norme, è caratterizzato sicuramente da una maggior armonizzazione ai codici di calcolo Europei in termini di coefficienti parziali di sicurezza. Entro tale aspetto giova sottolineare che le rinnovate Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17.01.18, prevedono per la prima volta, la possibilità di applicare differenti coefficienti parziali di sicurezza ( $\gamma_M$ ) in funzione del Coefficiente di Variazione della resistenza dei materiali a base legno.

Infatti, il paragrafo 4.4.6 "Resistenza di Progetto" indica quanto segue:

*"Il coefficiente  $\gamma_M$  è valutato secondo la colonna A della tabella 4.4.III. Si possono assumere i valori riportati nella colonna B della stessa tabella, per produzioni continuative di elementi o strutture, (...) dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non superiore al 15%. Le suddette produzioni devono essere inserite in un sistema di qualità di cui al § 11.7."*

Stati limite ultimo	Colonna A ( $\gamma_M$ )	Colonna B ( $\gamma_M$ )
Combinazioni fondamentali		
Legno massiccio	1,50	1,45
Legno lamellare incollato	1,45	1,35
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1,45	1,35
Pannelli di particelle o fibre	1,50	1,40
LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40	1,30
Unioni	1,50	1,40
Combinazioni eccezionali	1,00	

Tab. 2.1 - Coefficienti parziali di sicurezza: da tabella 4.4.III (semplificata)

Sempre in relazione all'argomento, si precisa che i modelli probabilistici, riconosciuti a livello internazionale per il calcolo dei rispettivi Coefficienti di Variazione (CoV), sono quelli forniti dalla JCSS (Joint Committee on Structural Safety – <http://www.jcss.byg.dtu.dk/>).

La stessa JCSS assume - per gli assortimenti "incollati" oggetto di controllo continuo (oggi disciplinati dalle specifiche tecniche armonizzate richiamate dal par. 11.7, quali ad es. UNI EN 14080 per legno lamellare incollato o EAD 130005-00-0304 per elementi X-lam) i seguenti Coefficienti di Variazione (CoV):

- CoV  $\leq$  15% per la Resistenza a flessione (Rm);
- CoV  $\leq$  13% per quanto riguarda il Modulo di elasticità a flessione (Em)

Allo stesso modo, la nuova Circolare Esplicativa– riprendendo indirettamente quanto indicato dalla JCSS - riporta al par. C4.4.6 la seguente dicitura:

*“Nella Tabella 4.4.III delle NTC sono forniti i valori del coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale. I valori appartenenti alla colonna “A” possono essere sempre adottati; i valori riportati in colonna “B” possono essere sempre adottati purché i materiali utilizzati siano prodotti secondo un sistema di qualità e quindi certificati secondo la lettera A) o C) (ETA) di cui al par. 11.1”*

Quindi nel caso di elementi incollati (quali ad es. legno lamellare e X-lam), oggetto di marcatura CE secondo le rispettive specifiche tecniche applicabili da cui risulti un controllo continuativo della produzione, questi possono essere attribuiti alla colonna B della tab. 4.4.III attraverso la seguente documentazione accompagnatoria (come altresì definito nel par. 11.7.10.1.2 “Forniture e documentazione di accompagnamento”) senza la necessità di ulteriori documentazione a corredo della fornitura:

- una copia della documentazione di marcatura CE, secondo il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione applicabile al prodotto in questione;
- la Dichiarazione di Prestazione di cui al Regolamento (UE) n.305/2011

Infine, si riporta una ulteriore nota di chiarimento in merito alla dicitura introdotta al par. C11.7.10 (“Fabbricanti e Centri di Lavorazione”) che aggiunge quanto segue:

*“Il fabbricante deve assicurare un sistema di controllo della produzione in fabbrica, tale da poter attribuire al prodotto i coefficienti parziali di sicurezza di cui al par. 4.4.6 delle NTC. Qualora il fabbricante intendesse attribuire il tipo di legname alla colonna “B” della tabella 4.4.III delle NTC, nella documentazione di accompagnamento delle forniture deve essere fatto esplicito riferimento ai coefficienti di variazione calcolati in fase di caratterizzazione fisico-meccanica dei prodotti”*

Si ricorda che il termine **“tipo di legname”** si riferisce ad elementi in legno massiccio e ha una sua precisa collocazione normativa definita all’interno della UNI 11035-1 “Legno Strutturale – Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica” (norma richiamata dalle medesime NTC). Per facilità di lettura si riporta tale definizione di:

- § 3.18 (UNI 11035-1): *Tipo di legname: materiale al quale si applicano i valori caratteristici. Il tipo di legname viene definito da parametri quali specie, provenienza e categoria. Ogni tipo di legname comprende assortimenti di varia sezione e lunghezza, i quali devono contribuire tutti insieme alla determinazione dei valori caratteristici.*

Quindi solo in relazione ad elementi in legno massiccio, qualora il produttore sia interessato ad attribuire i coefficienti della colonna B, dovrà – all’interno della documentazione accompagnatoria – fare riferimento ai coefficienti di variazione calcolati in fase di caratterizzazione fisico – meccanica dei prodotti (vedi procedure di derivazione dei valori caratteristici indicati nella UNI EN 384 “Legno strutturale - Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica”) elaborando una specifica dichiarazione dedicata.

L’approfondimento documentale specificato al par. C11.7.10 della Circolare Esplicativa troverebbe inoltre giustificazione nei Coefficienti di Variazione (CoV) proposti per il legno massiccio dai modelli probabilistici definiti dalla stessa Joint Committee on Structural Safety che, proprio per tale assortimento, in riferimento al legno di conifera di provenienza europea prevede:

- $CoV \leq 25\%$  per la Resistenza a flessione ( $R_m$ );
- $CoV \leq 13\%$  per quanto riguarda il Modulo di elasticità a flessione ( $E_m$ )

Infine, per quanto riguarda i valori di  $k_{mod}$ , questi sono forniti nella Tab. 4.4.IV delle NTC 2018: anche sotto questo aspetto, tale tabella risulta essere modificata favorevolmente rispetto a quella contenuta nelle NTC 2008 per le condizioni di carico istantanee.

A tal proposito si segnala che nell’ultima colonna della Tab. 4.4.IV ( quella appunto relativa alla classe di carico istantanea) i valori sono stati incrementati del 10%, armonizzando così tale parametro con quanto previsto in sede di codice di calcolo europeo (EC5 – UNI EN 1995).

### 2.2.2 CARICO DA NEVE E CLASSI DI SERVIZIO

Le norme NTC 2008 non fornivano un’indicazione della classe di durata del carico neve in funzione dell’altitudine, lasciando al progettista la scelta in funzione delle caratteristiche del sito.

Anche l’Eurocodice 5 non fornisce indicazioni in merito: tale documento comunitario rimanda infatti alle rispettive appendici nazionali, dal momento che i carichi climatici quali la neve possono variare nei diversi Paesi dell’Unione.

Quindi Le NTC 2018, al punto 4.4.4, forniscono per la prima volta la seguente indicazione: *“il sovraccarico da neve riferito al suolo  $q_{sk}$ , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è da attribuire ad una classe di durata del carico da considerarsi in funzione delle caratteristiche del sito per altitudini di riferimento inferiori a 1000 m, mentre è da considerarsi almeno di media durata per altitudini superiori o uguali a 1000 m”.*

Ne consegue quindi che a quote inferiori a 1000 m il sovraccarico da neve può essere considerato, a meno che le caratteristiche del sito non suggeriscano considerazioni diverse, di breve durata. A quote superiori a 1000 m invece il sovraccarico da neve deve necessariamente essere considerato almeno di media durata.

Inoltre, le nuove Norme dispongono chiarimenti anche sull’attribuzione della classe di servizio a particolari strutture, quali ad es. i palghiacci.

Per capirne i motivi è necessario precisare alcuni aspetti così come di seguito riportato.

La definizione delle classi di servizio è fornita al punto 4.4.5 delle NTC 2018, dove è indicato che la:

- Classe di servizio 1 “è caratterizzata da un’umidità del materiale in equilibrio con l’ambiente a una temperatura di 20 °C e un’umidità relativa dell’aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all’anno”;
- Classe di servizio 2 “è caratterizzata da un’umidità del materiale in equilibrio con l’ambiente a una temperatura di 20 °C e un’umidità relativa dell’aria circostante che superi l’85% solo per poche settimane all’anno”.
- Classe di servizio 3 “è caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2”.

L'individuazione rigorosa delle classi di servizio dipende quindi dalle condizioni termo igrometriche dell’ambiente circostante: la coppia di valori temperatura/umidità relativa dell’ambiente è infatti strettamente legata all’umidità che sarà presente all’interno del materiale stesso. Un elemento di legno posto in un ambiente a temperatura e umidità relativa costanti raggiunge, dopo un determinato lasso di tempo, un certo valore di umidità di equilibrio. L’andamento della relazione tra umidità del legno e parametri climatici è mostrato nelle curve riportate nella figura seguente.

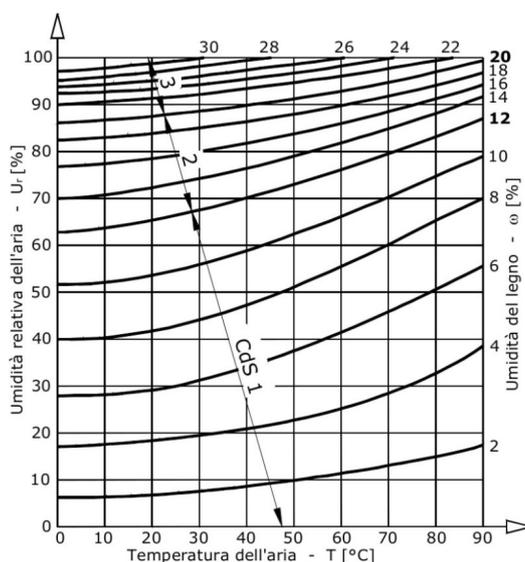


Fig. 2.1 - Curve di equilibrio igroscopico per la definizione della classe di servizio (tratta da CNR-DT 206 R1/2018)

Come si nota dalla figura e come riportato al punto 2.3.1.3 dell’Eurocodice 5 (EN 1995-1-1, 2014) tali condizioni corrispondono ad un contenuto di umidità medio nella maggior parte del legno di conifera non maggiore del 12% per la classe 1 e non maggiore del 20% per la classe 2.

Tipicamente:

- Classe di servizio 1: possono appartenere a tale classe gli elementi lignei protetti contro le intemperie come quelli posti all’interno degli edifici in ambienti climatizzati. Qualora, per alcune settimane durante l’anno, gli elementi siano sottoposti a condizioni ambientali peggiori, l’umidità nel legno tende a non variare in modo significativo a causa dei tempi necessari per arrivare ad un nuovo punto di equilibrio.
- Classe di servizio 2: possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all’esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall’irraggiamento solare diretto. Si deve notare che, per come sono definite le classi di servizio, in alcuni casi gli elementi costruttivi della stessa opera possono appartenere a classi di servizio diverse: è ad esempio il caso di una trave di copertura che esce in gronda (la parte interna all’edificio si trova in classe di servizio 1, la parte esterna si trova in classe di servizio 2).

- Classe di servizio 3: possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici direttamente esposti alle intemperie senza protezione. Questo significa che gli elementi costruttivi si devono assegnare alla classe di servizio 3, se le condizioni per un'assegnazione alle classi di servizio 1 e 2 non possono essere garantite.

L'attribuzione alla classe di servizio 3 può interessare tuttavia anche elementi costruttivi posti in ambienti interni che eccedono frequentemente le condizioni per l'attribuzione alla classe di servizio 2. I palaghiaccio, ambienti caratterizzati da un alto grado di umidità, a causa delle basse temperature, presentano umidità di equilibrio del legno maggiori a parità di umidità relativa dell'aria e la possibilità di condensazione del vapore d'acqua sugli elementi freddi; devono quindi essere attribuiti alla classe di servizio 3. Allo stesso modo si precisa che gli elementi presenti entro tali ambienti devono presentare adeguati particolari costruttivi (ad es. scossaline metalliche a protezione dell'intradosso) per garantire frequenze di manutenzione razionali e compatibili con la vita nominale dell'edificio.

### 2.2.3 ANALISI DELLE VIBRAZIONI

Le norme Tecniche trattano gli stati limite di esercizio al paragrafo 4.4.7, specificando che *“nel caso di impalcati, si raccomanda la verifica della compatibilità della deformazione con la destinazione d'uso”*, senza fornire ulteriori indicazioni.

Al contempo, il paragrafo C4.4.7 della Circolare chiarisce che:

*“Si dovrà verificare che le azioni previste sulla struttura non producano vibrazioni che ne possano compromettere la normale utilizzazione o comunque ridurre il comfort degli utenti.”*

Si raccomanda che gli effetti provocati sui solai da vibrazioni e urti indotti dal calpestio siano limitati, in modo da garantire un accettabile livello di comfort per gli utilizzatori. Per solai aventi una frequenza fondamentale maggiore o uguale a 8 Hz, le verifiche devono essere effettuate limitando il valore massimo di freccia verticale indotto da un carico concentrato  $F$  agente su qualsiasi punto del solaio, nonché limitando il valore di velocità iniziale derivante da un carico impulsivo agente nel punto del solaio che fornisce la massima risposta.

A tal proposito è possibile fare riferimento a quanto proposto all'interno della UNI EN 1995-1-1. Nel caso in cui la frequenza fondamentale del solaio risulti inferiore a 8 Hz, si raccomanda, al fine di scongiurare possibili fenomeni di amplificazione, di limitare opportunamente la massima accelerazione verticale indotta da un carico dinamico rappresentativo del fenomeno di calpestio lungo il solaio, anche facendo utile riferimento a documenti di comprovata validità.

Nel calcolo dei parametri necessari alle verifiche sopra riportate, si consiglia di tenere in conto la collaborazione laterale dipendente dalla rigidità trasversale del solaio. Si suggerisce inoltre di adottare un valore di massa del solaio corrispondente alla combinazione di carico quasi-permanente.

La Circolare fornisce quindi indicazioni sui criteri di verifica da adottare, rimandando alle verifiche dell'Eurocodice 5 e di altri documenti di comprovata validità.

L'essere umano, durante la sua normale attività, provoca carichi dinamici: la frequenza media dei passi nel caso di andatura normale è attorno ai 2 Hz (due passi al secondo). Per questo motivo un primo criterio di dimensionamento è quello di garantire che la frequenza fondamentale del solaio sia sufficientemente alta così da evitare possibili fenomeni di risonanza.

L'Eurocodice 5 richiede che i solai in legno abbiano una frequenza fondamentale maggiore di 8 Hz e il rispetto di due criteri: una verifica di rigidità minima del solaio, che si ottiene limitando la freccia massima verticale dovuta ad una forza statica concentrata di 1 kN, da applicarsi in un qualsiasi punto del solaio, ed una verifica relativa alla massima velocità di vibrazione del solaio causata da un impulso unitario.

Si tratta di formulazioni basate sugli studi di Ohlsson, che si possono applicare a solai caratterizzati da massa particolarmente ridotta, mentre mal si prestano alla valutazione di solai pesanti, molto diffusi nel nostro paese. Ricordiamo che nel caso di solai con una frequenza propria al di sotto di 8 Hz l'Eurocodice 5 richiede analisi particolari, senza tuttavia specificare quali siano i criteri da rispettare.

Successivamente, basandosi su studi teorici e sperimentali, diversi studiosi (citiamo Kreuzinger e Mohr) si sono occupati del problema proponendo metodologie di verifica valide anche nel caso di frequenze inferiori a 8 Hz e basate, oltre che su un criterio di rigidità minima (freccia sotto l'azione di una forza unitaria) su una limitazione dell'accelerazione del solaio ad un valore di 0,1 m/s<sup>2</sup>.

## 2.3 PARAGRAFO 7.7 – COSTRUZIONI IN LEGNO & PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA

In termini generali si precisa che il presente capitolo disciplina la progettazione delle nuove opere soggette all'azione sismica. Le sue indicazioni sono, naturalmente, da considerarsi aggiuntive e non sostitutive di quelle riportate nel Capitolo 4.4 precedentemente esaminato.

Di seguito sono riportati alcune note in relazione ai punti di maggiore interesse.

### 2.3.1 ASPETTI CONCETTUALI DELLA COSTRUZIONE IN LEGNO

Il sotto-paragrafo riprende quanto già stabilito al § 7.2.2. ("Criteri generali di progettazione dei sistemi strutturali") sui sistemi strutturali in generale rimarcando che, in presenza di azioni sismiche, anche gli edifici di legno verranno progettati ipotizzando per le strutture un comportamento di tipo dissipativo o non dissipativo.

- Strutture non dissipative: le strutture dovranno essere verificate in campo elastico (fattore di comportamento,  $q_0 = 1$  o comunque considerando un fattore di comportamento  $q_{ND}$ , ridotto rispetto al valore minimo della CD "B" – "Classe di duttilità bassa");
- Strutture dissipative: in questo caso si terrà conto della possibilità della struttura di dissipare energia in alcune zone duttili considerando nel calcolo, in maniera esplicita od implicita, le non linearità dei materiali impiegati in tali zone. Nel primo caso (esplicito) si adotteranno effettivamente adeguate leggi costitutive non elastiche (analisi non lineare), nel secondo caso (implicito) si terrà invece conto della duttilità in maniera semplificata e convenzionale riducendo lo spettro elastico attraverso il fattore di comportamento ( $q_0$ ) e continuando ad utilizzare per i materiali leggi costitutive elastiche (analisi lineare se si trascurano le non linearità geometriche).

Le nuove NTC precisano altresì che non tutti i collegamenti prescelti e/o gli elementi strutturali devono avere un comportamento duttile. Infatti per garantire il comportamento dissipativo ipotizzato occorrerà identificare per la struttura un meccanismo di collasso duttile globale e localizzare le zone dissipative in alcune delle connessioni mentre tutte le membrature e le restanti connessioni dovranno rimanere in campo elastico. All'interno del medesimo paragrafo troviamo la seguente dicitura che introduce il concetto di sovrarresistenza per le zone non dissipative:

*"Ai fini dell'applicazione dei criteri della progettazione in capacità, per assicurare la plasticizzazione delle zone dissipative (...), queste devono possedere una capacità almeno pari alla domanda mentre le componenti non dissipative (...) adiacenti, debbono possedere una capacità pari alla capacità della zona dissipativa amplificata del fattore di sovrarresistenza  $\gamma_{Rd}$ , di cui alla Tab. 7.2.1"*

In relazione ai fattori di sovrarresistenza, la norma definisce anche tale aspetto riportando all'interno della Tab.1.2 (Tab. 7.2.1 della norma) tali coefficienti  $\gamma_{Rd}$ :

Tab.2.2 – Fattori di sovra-resistenza ( $\gamma_{Rd}$ )				
Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	$\gamma_{Rd}$	
Legno		Collegamenti	CD "A"	CD "B"
			1,60	1,30

Nota - CD "A": classe di duttilità "alta"; CD "B": classe di duttilità "bassa"

Il testo delle nuove NTC, fornisce comunque la possibilità di utilizzare valori inferiori a quelli indicati all'interno della tabella sopra riportata, ma precisa quanto di seguito:

*“(...) valori inferiori del fattore di sovrarresistenza ed in ogni caso maggiori o uguali a 1,3 per CD “A” e a 1,1 per CD “B” devono essere giustificati sulla base di idonee evidenze teorico-sperimentali”.*

### 2.3.2 MATERIALI, PROPRIETÀ DISSIPATIVE E FATTORI DI COMPORTAMENTO

Le indicazioni del presente paragrafo si applicano qualora si ipotizzino in sede di progetto strutture di tipo dissipativo e forniscono le opportune regole per una progettazione in capacità.

Rispetto alla versione precedente, la norma precisa le caratteristiche dei pannelli strutturali da utilizzarsi nelle pareti di taglio e nei diaframmi orizzontali, evitando possibili fraintendimenti circa la massa volumica richiesta e la relativa tipologia di assortimento.

A tal proposito – per facilità di lettura - si riporta estratto della nuova norma contenente le disposizioni a) b) e c):

*“Per l’utilizzo nelle pareti di taglio e nei diaframmi orizzontali, i pannelli strutturali di rivestimento devono rispettare le seguenti condizioni:*

*a) i pannelli di particelle (UNI EN 312) devono avere uno spessore non inferiore a 13 mm e massa volumica caratteristica in accordo a UNI EN 12369-1;*

*b) i pannelli di compensato (UNI EN 636) devono avere spessore non inferiore a 9 mm;*

*c) i pannelli di OSB (UNI EN 300) devono avere spessore non inferiore ai 12 mm se disposti a coppia, non inferiore a 15 mm se disposti singolarmente”*

Sempre a titolo di completezza si precisa che all’interno delle NTC 2008, la versione era la seguente:

*“a) i pannelli di particelle hanno una massa volumica non inferiore a 650 kg/m<sup>3</sup> e spessore non inferiore a 13 mm;*

*b) i pannelli di compensato presentano spessore non inferiore a 9 mm.”*

Da sottolineare che la precedente dicitura riportata nelle NTC2008 induceva molte volte confusione tra gli operatori di settore, produttori, professionisti e uffici territoriali competenti al rilascio dell’autorizzazione sismica. Tale poca chiarezza normativa indirettamente portava a ritardi tecnico amministrativi e relativo ritardo di cantierizzazione dell’opera.

Inoltre si riportano di seguito alcune brevi considerazioni in merito ai fattori di comportamento e alle novità introdotte dalle NTC 2018. Nel caso di strutture con comportamento dissipativo, infatti, è obbligo del Progettista giustificare la scelta dei valori assunti per il fattore di comportamento di base  $q_0$  in funzione della capacità dissipativa del sistema strutturale nonché dei criteri di dimensionamento dei collegamenti.

Devono inoltre essere prevenute rotture di tipo fragile mediante una puntuale applicazione dei principi della progettazione in capacità.

Nella Tabella 2.3 (denominata come 7.3.11 nelle nuove NTC e riportata per le varie tecniche costruttive al paragrafo 7.3.2.) sono indicati, per ciascuna delle due classi di duttilità previste e per le diverse tipologie strutturali, i valori massimi del fattore di comportamento  $q_0$  da utilizzare nelle verifiche allo SLV\*\*. <sup>1</sup>

Nel caso in cui il controventamento della struttura sia affidato a materiali diversi dal legno (calcestruzzo armato, acciaio), si dovrà ovviamente fare riferimento ai paragrafi che riguardano tali materiali.

---

<sup>1</sup> “SLV”: Stato Limite di Salvaguardia della Vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Tab 2.3 – Fattori massimi di comportamento e tipologie strutturali

Costruzioni di legno (§ 7.7.3)	CD“A”	CD“B”
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati	3,0	2,0
Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico	4,0	2,5
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni.	5,0	3,0
Pannelli di parete incollati a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni; Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti; Strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti	-	2,5
Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, e altre tipologie strutturali	-	1,5

Alcuni dei valori sopra riportati differiscono lievemente da quelli elencati nelle tabelle 7.7.I. e 7.7.II delle NTC 2008, ora unificate in un'unica tabella che prevede anche per le strutture della prima riga la possibilità di essere progettate in CD“A” o in CD“B”. Ulteriore importante novità, rispetto alla versione della corrente delle Norme, è che nel testo normativo viene esplicitato il relativo coefficiente di comportamento per le strutture realizzate tramite CLT a cui viene attribuito un  $q_0 \max = 2,5$  (CD“B”).

### 2.3.3 STRUTTURA A PARETI PORTANTI INTELAIATE E COEFFICIENTE DI COMPORTAMENTO

In accordo con la Tab. 7.3.II delle NTC 2018, per le strutture a pareti portanti intelaiate sono previsti i seguenti valori massimi del valore di base del fattore di comportamento allo SLV, in funzione della classe di duttilità CD:

Tipologia strutturale	CD“A”	CD“B”
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni	3,0	2,0
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni	5,0	3,0

Tab. 2.4 – Strutture a telaio e coefficienti di struttura

E' interessante notare come vi sia una distinzione tra le 2 tipologie strutturali in funzione del tipo di diaframma di piano utilizzato; in particolare sono proposti fattori di comportamento maggiori nel caso di diaframmi chiodati.

Sembra dunque esservi una correlazione tra la capacità dissipativa della struttura e la capacità dissipativa dei solai.

Nelle NTC 2008, al paragrafo 7.3.6.1, si affermava chiaramente che “gli orizzontamenti devono essere in grado di trasmettere le forze ottenute dall’analisi, aumentate del 30%”. Si escludeva quindi in modo chiaro la possibilità di avere dissipazione energetica nei solai, elementi che, se ben progettati, devono avere una “rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali, tale da potersi assumere che la propria deformazione in pianta influenzi in modo minimo o trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e” una “resistenza sufficiente a garantire l’efficacia di tale distribuzione” (come riportato al punto 7.2.1 delle NTC 2018).

Tali concetti sono ribaditi nell'Eurocodice 8 al punto 4.2.1.5, dove si sottolinea l'importanza del ruolo dei diaframmi nel comportamento sismico complessivo della struttura ed in particolare si evidenzia come "essi si comportano come membrature orizzontali che riuniscono e trasmettono le forze di inerzia ai sistemi strutturali verticali e assicurano che detti sistemi partecipino tutti insieme nel contrastare l'azione sismica orizzontale", e al punto 4.4.2.5, dove si afferma che *"le membrature e gli elementi di controvento che giacciono nei piani orizzontali devono essere in grado di trasmettere, con sufficiente sovrarresistenza, gli effetti dovuti all'azione sismica di progetto ai sistemi di controvento cui sono connessi. Il requisito può ritenersi soddisfatto se per le relative verifiche di resistenza, gli effetti dell'azione sismica nella membratura ottenuta dall'analisi è moltiplicata da un coefficiente di sovrarresistenza maggiore di 1,0"*.

Nelle NTC 2018 concetti simili vengono espressi al punto 7.2.2. "gli orizzontamenti [...] devono essere dotati di rigidità e resistenza tali da consentire la ridistribuzione delle forze orizzontali tra i diversi sistemi resistenti a sviluppo verticale" e al punto 7.7.6 "al fine di garantire lo sviluppo del comportamento ciclico dissipativo in corrispondenza delle zone assunte come dissipative, tutti gli altri elementi strutturali e/o connessioni devono essere progettati con adeguati valori di sovrarresistenza. Tale requisito si applica in particolare ai [...] collegamenti tra diaframmi orizzontali ed elementi verticali di controvento".

Alla luce di tali indicazioni, che devono essere rispettate anche per le tipologie in esame, non sembra dunque giustificabile avere una distinzione tra i fattori di comportamento delle due differenti tipologie strutturali in relazione al tipo di diaframma.

Per tale ragione solamente analisi avanzate, in fase post elastica, possono essere considerate in grado di cogliere la reale dissipazione e la distribuzione delle sollecitazioni associate ad una plasticizzazione dei diaframmi orizzontali.

È anche giusto sottolineare come i valori dei fattori di comportamento proposti all'interno della Tab. 7.3.II delle NTC 2018 per la tipologia con diaframmi incollati (dove si esclude la possibilità di avere dissipazione all'interno dei solai) possano ritenersi piuttosto cautelativi.

In linea con il più recente stato dell'arte, viene proposta una sola tipologia strutturale per gli edifici a telaio leggero, avente fattore di comportamento 2,5 in CD "B" (2,0 nelle NTC 2018) e 4,0 in CD "A" (3,0 nelle NTC 2018). Tali valori sono proposti sia nel CNR-DT 206 R1/2018, che nella pubblicazione Follesa et al., 2018, dove è riportata anche un'interessante discussione sui valori del fattore di comportamento con riferimento ai valori adottati nelle norme internazionali.

### 2.3.4 STRUTTURE MISTE

Al paragrafo C7.7.3 la Circolare fornisce importanti chiarimenti a proposito dei concetti di sistemi strutturali resistenti in parallelo e di sistemi strutturali sovrapposti.

Per quanto riguarda i sistemi strutturali resistenti in parallelo:

*"Qualora più tipologie strutturali, anche di materiali diversi, collaborino nella resistenza sismica (sistemi resistenti in parallelo), è possibile computare il contributo di entrambe le tipologie, purché nell'analisi sia adottato il fattore di comportamento con valore minore. In alternativa dovranno essere utilizzate analisi di tipo non lineare."*

Per quanto riguarda i sistemi strutturali sovrapposti:

*"È consentito realizzare una struttura in legno che sormonti una struttura realizzata con altra tipologia di materiale (calcestruzzo armato, muratura, acciaio, ecc.). In particolare, qualora sia presente un piano cantinato o seminterrato con pareti di calcestruzzo armato, esso può essere assimilato a struttura di fondazione dei sovrastanti piani in legno, nel rispetto dei requisiti di continuità delle fondazioni."*

*In generale, nel caso in cui la sottostruttura possa essere considerata rigida rispetto alla sovrastruttura in legno, progettata come dissipativa, l'analisi delle azioni sulla sovrastruttura in legno può essere eseguita indipendentemente dalla sottostruttura, utilizzando i fattori di struttura nella Tabella 7.3.II delle NTC relativi alle strutture in legno. In tal caso è necessario progettare la sottostruttura sovrarresistente al fine di evitare possibili meccanismi di collasso di piano debole."*

Si tratta di specificazioni che forniscono al progettista un quadro normativo chiaro qualora decida di adottare soluzioni strutturali cosiddette ibride.

### 2.3.5 MEMBRATURE IN FALSO

Le NTC 2018 e la relativa Circolare non vietano la presenza di pareti in falso nelle strutture lignee; occorre però fare un po' di chiarezza.

Analizziamo cosa prevedono le NTC 2018 in merito. Al paragrafo 7.7.4 le NTC 2018 riportano: *“Travi e solette su cui poggiano elementi in falso (pilastri o pareti) devono essere sempre dimensionate tenendo in considerazione l'influenza delle componenti verticali dell'azione sismica, in accordo con quanto riportato in § 7.2.2”*.

La norma consente quindi l'utilizzo di membrature in falso purché gli elementi strutturali su cui poggiano siano verificati considerando la componente verticale dell'azione sismica nelle situazioni previste dal paragrafo 7.2.2 (tra le quali vi è anche il caso di *“pilastri in falso”*), *“purché il sito nel quale sorge la costruzione sia caratterizzato da un'accelerazione al suolo [...] pari ad  $a_g \geq 0,15g$ .”* (come indicato al paragrafo 3.2.3.1).

Al paragrafo 7.2.2 vengono fornite inoltre due importanti definizioni: quelle di **elemento strutturale primario e secondario**. *“I sistemi strutturali sono composti di elementi strutturali primari ed eventuali elementi strutturali secondari. Agli **elementi strutturali primari** è affidata l'intera capacità antisismica del sistema; gli **elementi strutturali secondari** sono progettati per resistere ai soli **carichi verticali**.”*

Il paragrafo 7.2.3 chiarisce che *“nell'analisi della risposta sismica, la rigidità e la resistenza alle azioni orizzontali”* degli elementi secondari *“possono essere trascurate. Tali elementi sono progettati per resistere ai soli carichi verticali e per seguire gli spostamenti della struttura senza perdere capacità portante. Gli elementi secondari e i loro collegamenti devono quindi essere progettati e dotati di dettagli costruttivi per sostenere i carichi gravitazionali, quando soggetti a spostamenti causati dalla più sfavorevole delle condizioni sismiche di progetto allo SLC.”*

Le NTC 2018 non chiariscono quindi se le pareti in falso possano essere considerate come elementi strutturali sismo-resistenti o solamente come elementi strutturali secondari.

Un chiarimento in proposito è fornito al paragrafo C7.7.4 della Circolare: *“Negli edifici lignei gli elementi strutturali sismo-resistenti dovranno garantire la continuità della trasmissione delle azioni a partire dal solaio di partenza delle elevazioni in legno; non è quindi ammesso interrompere tali elementi prima del raggiungimento di tale solaio. È invece consentito disporre elementi strutturali sismo-resistenti portanti che non raggiungono la sommità dell'edificio”*. È quindi possibile avere pareti in falso, ma non come elementi strutturali sismo-resistenti. La Circolare ribadisce inoltre che *“le pareti di tamponamento e le pareti strutturali non facenti parte del sistema sismo-resistente (pareti secondarie in accordo con il punto 7.2.3 delle NTC) devono essere progettate con dettagli costruttivi atti a non trasmettere azioni orizzontali nel piano della parete medesima. Nell'analisi della struttura, il contributo in termini di resistenza e rigidità di tali pareti secondarie nei confronti delle azioni orizzontali deve essere trascurato”*.

La Circolare quindi è in linea con le più recenti proposte di aggiornamento dell'Eurocodice 8 (Follesa et al., 2018), dove viene indicato che le pareti di taglio sismo-resistenti debbano essere strutturalmente continue dalla fondazione (intesa come solaio alla base della struttura in legno, qualora questa sia realizzata sopra una struttura in altro materiale) fino ad un certo piano, al fine di evitare la formazione di meccanismi di piano debole.

È sempre invece possibile l'interruzione delle pareti sismo-resistenti ad un “certo piano” senza che esse raggiungano la sommità dell'edificio.

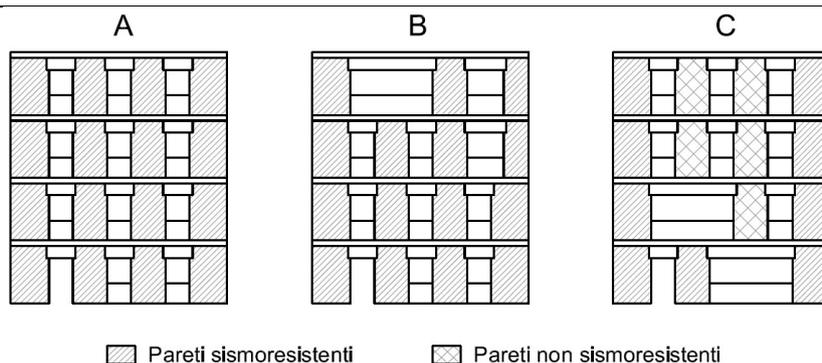


Fig. 2.3 - A) Edificio con tutte le pareti sismoresistenti continue dalla fondazione in sommità; (B) edificio con parte delle pareti sismoresistenti continue dalla fondazione in sommità e parte delle pareti interrotte prima di giungere in copertura; (C) edificio con pareti interrotte sotto il terzo e secondo piano prima di giungere in fondazione (modificata da Follesa et al., 2018)

### 2.3.6 DIAFRAMMI DI LEGNO E PIANO RIGIDO

Il paragrafo 7.2.6 delle NTC 2018 relativo ai criteri generali di modellazione della struttura in caso di analisi sismica precisa che *“a meno di specifiche valutazioni e purché le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidezza, gli orizzontamenti piani possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano medio a condizione che siano realizzati in calcestruzzo armato, oppure in latero-cemento con soletta in calcestruzzo armato di almeno 40 mm di spessore, o in struttura mista con soletta in calcestruzzo armato di almeno 50 mm di spessore collegata agli elementi strutturali in acciaio o in legno da connettori a taglio opportunamente dimensionati.”*

Si ricorda che non è però necessario prevedere una soletta in c.a. per poter considerare un orizzontamento in legno come rigido nel suo piano. Per quanto riguarda le strutture in legno infatti le NTC 2018, al paragrafo 7.7.4, specificano che nel modello strutturale gli impalcati *“possono essere assunti come rigidi, senza necessità di ulteriori verifiche, se:*

- per gli impalcati sono rispettate le disposizioni costruttive date nel successivo § 7.7.5.3 o, in alternativa e se pertinente, nel § 7.7.7.2;
- eventuali aperture presenti non influenzano significativamente la rigidezza globale di lastra nel proprio piano”.

Il paragrafo 7.7.5.3 riporta le disposizioni costruttive per gli impalcati da adottarsi in aggiunta rispetto a quanto indicato nei paragrafi dedicati al calcolo delle strutture in legno soggette a carichi non sismici:

*“Per quanto riguarda gli impalcati, si applica in generale quanto previsto al § 4.4, con le variazioni seguenti:*

- eventuali fattori di incremento della capacità portante dei mezzi di unione ai bordi dei rivestimenti strutturali non devono essere utilizzati; nel caso di bordi discontinui dei pannelli non si deve incrementare l’interasse dei chiodi lungo i bordi medesimi;”

Nel paragrafo 4.4 delle NTC 2018 purtroppo non vengono date indicazioni specifiche per il dimensionamento dei diaframmi di piano e questo può generare una certa confusione.

Il paragrafo 7.7.5.3 deve quindi essere letto facendo riferimento al paragrafo 9.2.3 dell’Eurocodice 5 (UNI EN 1995-1-1). Al punto 9.2.3.1 (2) l’Eurocodice 5 indica che, per i diaframmi assemblati a partire da fogli di materiale a base legno fissati con mezzi di unione meccanici ad un telaio di legno, *“la capacità portante dei mezzi di unione in corrispondenza dei bordi può essere aumentata di un coefficiente 1,2 rispetto ai valori forniti nella sezione”* della medesima norma che tratta il calcolo delle resistenze dei collegamenti.

Tale incremento della resistenza dei collegamenti è consentito in ragione del fatto che, essendo presenti nel diaframma un gran numero di connettori soggetti al medesimo carico, la probabilità che si raggiunga in tutti il valore di resistenza caratteristica è bassa; è quindi data la possibilità di utilizzare il valor medio della resistenza, assunto pari a 1,2 volte il valore caratteristico.

Nel calcolo in condizioni sismiche le NTC 2018 non consentono tale aumento della resistenza delle connessioni utilizzate per collegare gli elementi di rivestimento alla struttura portante.

Al punto 9.2.3.2 (4) l'Eurocodice 5 indica che "nel caso in cui i fogli siano sfalsati, le spaziature di chiodi lungo i bordi discontinui del pannello possono essere aumentate di un coefficiente 1,5 [...] senza riduzione della capacità portante". Anche in questo caso le NTC 2018 non consentono tale aumento per il calcolo in condizioni sismiche.

Il paragrafo 7.7.5.3 procede come di seguito riportato.

"b) la distribuzione delle forze di taglio negli impalcati deve essere valutata tenendo conto della disposizione effettiva, in pianta, degli elementi di controvento verticali;

c) i vincoli nel piano orizzontale tra impalcato e pareti portanti verticali devono essere di tipo bilatero.

Tutti i bordi dei rivestimenti strutturali devono essere collegati agli elementi del telaio: i rivestimenti strutturali che non terminano su elementi del telaio devono essere sostenuti e collegati da appositi elementi di bloccaggio taglio-resistenti.

Dispositivi con funzione analoga devono essere inoltre disposti nei diaframmi orizzontali posti al di sopra di elementi verticali di controvento (ad esempio le pareti).

La continuità delle travi deve essere assicurata, specialmente in corrispondenza delle zone di impalcato che risultano perturbate dalla presenza di aperture".

Si tratta di indicazioni volte a incrementare l'efficacia del controventamento di piano offerto dal solaio, ed in particolare del collegamento a taglio dei bordi dei pannelli, dove è previsto l'inserimento di appositi elementi di fissaggio, e del collegamento tra il diaframma di piano e gli elementi portanti sottostanti.

Il paragrafo 7.7.5.3 prevede inoltre che:

"Quando gli impalcati sono considerati, ai fini dell'analisi strutturale, come rigidi nel loro piano, in corrispondenza delle zone nelle quali si attua il trasferimento delle forze orizzontali agli elementi verticali (per esempio le pareti di controvento) si deve assicurare il mantenimento della direzione di tessitura delle travi di impalcato."

L'obiettivo della norma è ancora una volta quello di garantire un'efficace trasmissione delle azioni orizzontali tra impalcato e pareti di controvento: tale obiettivo si raggiunge tramite la progettazione di un dettaglio costruttivo in grado di assicurare tale trasferimento di forze.

Ulteriori disposizioni sono fornite al paragrafo 7.7.7.2:

"In assenza di elementi di controvento trasversali intermedi lungo la trave, il rapporto altezza/spessore per una trave a sezione rettangolare deve rispettare la condizione  $h/b \leq 4$ .

In siti caratterizzati da un valore  $ag \geq 0,2 g$ , particolare attenzione deve essere posta alla spaziatura degli elementi di fissaggio in zone di discontinuità."

La norma sottolinea la necessità di evitare, in assenza di elementi di bloccaggio intermedi, travi troppo snelle e, in presenza di zone ad elevata sismicità, di adottare una spaziatura minore dei connettori nelle aree di discontinuità.

Preme sottolineare il fatto che la verifica della resistenza dell'impalcato nel piano e il rispetto delle disposizioni costruttive sopra riportate, vanno sempre adottate, indipendentemente dal fatto che nell'analisi il solaio sia modellato come rigido o meno nei confronti delle azioni orizzontali.

## 2.4 CAPITOLO 8: ESISTENTE

La presente parte di testo delle NTC2018 & Circolare può rappresentare per il settore una possibile opportunità per implementare la propria quota di mercato. Rispetto alla precedente versione, per la prima volta, il materiale legno viene considerato come elemento positivo nei processi di messa in sicurezza degli edifici.

All'interno del presente paragrafo, infatti, si fa esplicito riferimento a quanto disciplinato nel par. "C8.7.4.1 Criteri per gli interventi di consolidamento degli edifici in muratura" di cui si riporta un breve estratto:

*“Il rinforzo dei setti murari può essere eseguito mediante elementi strutturali integrativi collaboranti disposti sulla superficie, questi possono essere, per esempio, realizzati in acciaio (strutture reticolari costituite da piatti/nastri) o in legno (pannellature). Opportune connessioni devono consentire la collaborazione tra parete esistente e il rinforzo.”*

Inoltre per quanto riguarda la “Formazione dei diaframmi di piano” la circolare riporta:

- *“Per gli edifici storici, nel consolidamento di solai lignei sono genericamente preferibili, i diaframmi leggeri, di rigidità non trascurabile, realizzati a secco, quali quelli ottenuti con doppio assito, con pannelli a base legno quali quelli citati nel paragrafo 11.7 (...);”*

- *“Per quanto riguarda le coperture, nelle costruzioni in muratura è in linea generale opportuno operare mediante il mantenimento dei tetti in legno per non incrementare le masse nella parte più alta dell’edificio... Ove i tetti presentino orditure spingenti (...) la spinta deve essere contenuta, integrando in modo opportuno lo schema strutturale.”*

#### 2.4.1 SOPRAELEVAZIONI E INTERVENTI DI ADEGUAMENTO

Le Norme Tecniche per le Costruzioni elencano al paragrafo 8.4.3 tutte le casistiche per le quali si rende obbligatorio un intervento di adeguamento della costruzione, nello specifico “quando si intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d’uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica (...);
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente (...);
- e) apportare modifiche di classe d’uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.”

Le norme specificano inoltre che:

*“Una variazione dell’altezza dell’edificio dovuta alla realizzazione di cordoli sommitali o a variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile, non è considerato ampliamento, ai sensi della condizione a). In tal caso non è necessario procedere all’adeguamento, salvo che non ricorrano una o più delle condizioni di cui agli altri precedenti punti.”*

Si nota un probabile refuso nella terminologia della norma quando si scrive che tali interventi non sono considerati “ampliamento” ai sensi della condizione a): per coerenza il termine “ampliamento” andrebbe sostituito con “sopraelevazione”.

Si nota inoltre che tale punto è stato modificato rispetto alle NTC 2008, che prevedevano indicazioni più restrittive:

*“Una variazione dell’altezza dell’edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani, non è considerata sopraelevazione o ampliamento, ai sensi dei punti a) e b).”*

L’interpretazione di questi punti non è sempre univoca e chiara. Il problema di fondo è che le NTC non definiscono in modo chiaro cosa intendono per “sopraelevazione”, fornendo al contempo una definizione delle possibili “eccezioni”.

Non si tratta di sopraelevazione quando si ha un aumento di altezza dovuto alla realizzazione di cordoli sommitali: è ragionevole considerare che gli effetti del modesto aumento dell’altezza dell’edificio siano più che compensati dai vantaggi strutturali di un cordolo in sommità delle strutture murarie.

Non si tratta di sopraelevazione quando pur avendo una variazione dell’altezza della copertura non si ha un incremento di superficie abitabile. Da una lettura letterale della norma, quindi, pare legarsi la necessità di procedere o meno ad adeguamento a definizioni di tipo urbanistico. Ad esempio, nel caso della trasformazione di superfici accessorie (una

soffitta o un sottotetto non abitabile) in superfici abitabili, sarebbe automaticamente obbligatorio procedere ad adeguamento. Per assurdo sembrerebbe invece possibile la realizzazione di un piano aggiuntivo non destinato a superficie abitabile senza dover procedere ad adeguamento.

La Circolare chiarisce invece che l'incremento di superficie abitabile debba essere significativo da un punto di vista strutturale e non letto letteralmente alla luce di norme urbanistiche e regolamenti edilizi: l'intento è quello di obbligare all'adeguamento dell'intera costruzione quando effettivamente siano presenti significativi cambi strutturali o variazioni significative della massa sismica. Chiarita la ratio della norma, sarà il progettista a dover valutare, caso per caso, la situazione. Si tratta di un chiarimento importante, che evita possibili letture sbagliate della norma. Cerchiamo di chiarire con alcuni esempi:

- trasformazione di un sottotetto non abitabile destinato a soffitta (cat. A, sovraccarico 2 kN/m<sup>2</sup>, in quanto servizio di locali di abitazione) in ambienti ad uso residenziale (cat. A, sovraccarico 2 kN/m<sup>2</sup>): qualora il modesto aumento della massa, dovuto ad esempio alle modifiche del pacchetto di solaio, possa essere giudicato non strutturalmente significativo, allora non è necessario procedere all'adeguamento;
- trasformazione di un sottotetto accessibile per sola manutenzione (cat H1 in accordo con le NTC 2008, sovraccarico 0,5 kN/m<sup>2</sup>) in ambienti ad uso residenziale (cat. A, sovraccarico 2 kN/m<sup>2</sup>) con una variazione significativa dell'altezza della copertura per la realizzazione di un soppalco di notevole dimensione: in questo caso gli interventi portano ad incrementi di altezza dell'edificio e massa sismica che necessitano di attenta valutazione.

In ogni caso resta valido il criterio aggiuntivo previsto dal punto c) della norma in merito alle variazioni di destinazione d'uso, che limita gli incrementi dei carichi globali verticali in fondazione al 10%.

## 2.5 CAPITOLO 11.7 – MATERIALI E PRODOTTI A BASE LEGNO

Il nuovo testo del par. 11.7 riprende, aggiornando le Norme con quanto previsto dal Reg. 305/2011 e s.m.i., quanto precedentemente proposto dal DM 2008 in merito alle modalità di qualificazione e identificazione dei materiali e prodotti. In particolare e in riferimento a quanto definito dal par. 11.1, le casistiche entro le quali è possibile parlare di conformità dei prodotti immessi sul mercato, possono essere riassunte così come segue:

A) Marcatura CE secondo Norma Armonizzata;

B) Qualificazione nazionale, in alternativa ad una Norma Armonizzata per la quale sia ancora valido il relativo periodo di coesistenza;

C) Per i prodotti per uso strutturale non ricadenti nelle casistiche A e B, il produttore potrà dotarsi di marcatura CE in accordo a specifico ETA (Valutazione Tecnica Europea) in alternativa al Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (ove naturalmente disponibili).

Inoltre, il nuovo testo delle NTC precisa altresì che l'obbligo di Denuncia Attività per i Centri di Lavorazione è da ritenersi cogente sia nel caso di trasformazione di prodotti marcati CE, che di prodotti oggetto di qualificazione nazionale. L'attestato di Denuncia Attività è quindi da considerarsi come parte integrante della documentazione accompagnatoria (come meglio spiegato all'interno del par. 11.7.2.10 "Forniture e documentazione di accompagnamento").

In questa sede, sempre in relazione alla documentazione accompagnatoria della merce verso il cantiere, si aggiunge che il par.11.7.1 "Generalità" definisce quanto di seguito:

"Ogni fornitura deve essere accompagnata, secondo quanto indicato al §11.7.10.1.2, da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera"

Di seguito e rimandando alla lettura del nuovo testo delle NTC, in questa sede si prendono in considerazione esclusivamente le parti di maggiore novità che interessano le imprese di settore.

### 2.5.1 ATTESTATI DI QUALIFICAZIONE: FABBRICANTI E CENTRI DI LAVORAZIONE

Il paragrafo 11.7.10.1 “Fabbricanti e Centri di Lavorazione”, che è stato notevolmente ampliato rispetto a quanto contenuto nelle precedenti NTC, riordina le procedure di identificazione, qualificazione e accettazione dei prodotti e impartisce le disposizioni che fabbricanti, centri di lavorazione e fornitori intermedi devono rispettare per garantire le caratteristiche e le prestazioni dei materiali forniti.

In relazione ai termini di qualifica si riporta quanto di seguito:

- **Rinnovo attestato di qualificazione nazionale (fabbricanti):** il termine del rinnovo degli attestati non sarà più entro febbraio. A tal proposito si precisa che le nuove Norme stabiliscono che le imprese oggetto di qualificazione “entro il 31 gennaio di ogni anno, trasmettono al Servizio tecnico centrale evidenza documentale dei controlli effettuati sulla produzione nell’anno precedente”
- **Validità degli attestati di qualificazione (fabbricanti):** gli attestati di qualificazione rilasciati cessano la loro validità dopo cinque anni a seguito del rilascio. Al contempo si precisa che gli attestati di qualificazione “già rilasciati ai sensi del DM 14.01.2008 cessano comunque di validità cinque anni dopo l’entrata in vigore della presente versione delle Norme tecniche per le Costruzioni”;
- **Centri di lavorazione:** per quanto riguarda i termini di Denuncia di Attività dei Centri di lavorazione, le nuove norme traspongono quanto attualmente in essere all’interno della Circolare Esplicativa del 2.2.2009, all’interno del corpo legislativo delle Norme Tecniche.

Di seguito si riporta breve estratto:

*“Si definiscono Centri di Lavorazione del legno strutturale, gli stabilimenti nei quali viene effettuata la lavorazione degli elementi base qualificati per dare loro la configurazione finale in opera (...). Come tali devono documentare la loro attività al Servizio Tecnico Centrale, il quale, ultimata favorevolmente l’istruttoria, rilascia un Attestato di denuncia di attività (...).”*

Inoltre le stesse Norme precisano che:

*“Nel caso di impiego di prodotti base marcati CE, ogni lavorazione successiva a tale marcatura, non effettuata in cantiere sotto la responsabilità del direttore dei lavori, deve essere effettuata presso un centro di lavorazione.”;*

Infine per quanto riguarda la figura del Direttore Tecnico di Produzione, il nuovo testo delle NTC pone l’accento sull’importanza di tale figura, in quanto soggetto che si *“assume le responsabilità relative alla conformità alle presenti norme delle attività svolte nel centro di lavorazione”*.

Sempre in merito al DTP si precisa che, oltre ad una formazione iniziale, lo stesso dovrà *“frequentare un corso di aggiornamento con cadenza almeno triennale”*. In relazione ai corsi di formazione e aggiornamento di Direttore Tecnico di Produzione (previsti dalle NTC 2018) è altresì necessario – per il soggetto organizzatore che vuole proporli sul mercato - che gli stessi siano autorizzati dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (non è quindi più sufficiente il semplice deposito del relativo regolamento presso gli uffici del Servizio Tecnico Centrale, come indicato in passato dalle NTC 2008).

Sempre sullo stesso argomento si ritiene utile riportare quanto contenuto in Circolare Esplicativa:

*“Per quanto riguarda i Corsi di formazione e di Aggiornamento per “Direttori tecnici della produzione”, si rammenta che “appositi corsi” di formazione erano già stati introdotti con le precedenti NTC 2008; sono ora previsti anche i Corsi di aggiornamento, a cadenza triennale, aventi carattere obbligatorio: ne consegue che i Direttori che abbiano già seguito un Corso di formazione, in caso di mancato aggiornamento, vedranno decadere la loro qualificazione di Direttore. Gli attestati di partecipazione rilasciati ai sensi delle precedenti NTC 2008, cessano di avere validità al termine di tre anni dalla data di entrata in vigore dell’attuale “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”, ovvero al 20 marzo 2021.”*

Quindi in ragione delle precisazioni riportate nel testo della circolare Esplicativa dovranno essere frequentati – dai soggetti qualificati come Direttori Tecnici di Produzione - entro il 20 Marzo 2021, opportuni corsi di aggiornamento al fine di mantenere tale qualifica.

## 2.5.2 DOCUMENTAZIONE ACCOMPAGNATORIA

Il paragrafo 11.7.10.2 “Forniture e documentazione di accompagnamento” è stato aggiornato in funzione del Regolamento UE 305/2011 e specifica la documentazione che deve accompagnare le forniture di legno strutturale.

In particolar modo e in senso generale la documentazione accompagnatoria deve essere composta da:

- Una copia del Certificato CE di Costanza della Prestazione (qualora applicabile dal sistema di attestazione previsto per il prodotto immesso in cantiere) oppure dall’attestato di qualificazione o dal Certificato di Valutazione Tecnica rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale;
- Dichiarazione di Prestazione (DoP) come da Reg. 305/2011 oppure Dichiarazione resa dal Legale Rappresentante dello stabilimento in cui vengono riportate le informazioni riguardanti le caratteristiche essenziali del prodotto: “(...) classe di resistenza del materiale, l’Euroclasse di reazione al fuoco e il codice identificativo dell’anno di produzione; sulla stessa dichiarazione deve essere riportato il riferimento al documento di trasporto”;

Inoltre il nuovo corpo normativo delle prossime NTC esplicita anche la documentazione inerente i centri di lavorazione e questa dovrà essere composta da:

- Una copia dell’Attestato di Denuncia dell’Attività del centro di lavorazione;
- Dichiarazione del Direttore Tecnico della Produzione inerente la descrizione delle lavorazioni eseguite;

Nella tabella seguente si riportano per ciascuno degli assortimenti maggiormente diffusi a livello commerciale la documentazione accompagnatoria come da nuove NTC e relative specifiche tecniche di riferimento.

Tab. 2.5 – Documentazione accompagnatoria per i prodotti di maggiore diffusione commerciale

Assortimento	Documentazione accompagnatoria	
	Produzione	Lavorazione
Legno massiccio a spigolo vivo classificato secondo la resistenza (1)	Certificato CE secondo EN 14081-1 e Dichiarazione di Prestazione	Attestato di Denuncia di Attività e Dichiarazione resa dal Direttore Tecnico di Produzione
Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato	Certificato CE secondo EN 14080 e Dichiarazione di Prestazione	
KVH	Certificato CE secondo EN 15497 e Dichiarazione di Prestazione	
Compensato di tavole (Xlam) (2)	Certificato CE secondo ETA e Dichiarazione di Prestazione resa dal Legale Rappresentante	

(1) Per gli assortimenti. “Uso Fiume” e “Uso Trieste” e a “sezione irregolare”, salvo casistiche legate all’applicazione di specifica Valutazione Tecnica europea (ETA), la documentazione accompagnatoria sarà costituita dai seguenti documenti:

- Attestato di qualificazione ministeriale come produttore ; Dichiarazione resa dal Legale Rappresentante.
- Attestato come centro di lavorazione; Dichiarazione resa dal Direttore Tecnico di Produzione .

(2) La conformità del compensato di tavole può essere definita attraverso specifica Valutazione di Idoneità Tecnica (come da Linee Guida emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici). In tale caso la documentazione accompagnatoria dovrà essere costituita da:

- Valutazione di idoneità tecnica all’impiego
- Dichiarazione resa dal Legale Rappresentante
- Attestato di qualificazione come centro di lavorazione
- Dichiarazione resa dal Direttore Tecnico del centro di lavorazione

### 2.5.3 LA FIGURA DEL COSTRUTTORE

In merito alla figura del “costruttore” va premesso che in realtà non esiste nella legge italiana una definizione ed una disciplina precisa, ben delimitata e definita, per ambiti, oggetto di attività e requisiti professionali, che possa renderne compiutamente il senso, la portata e gli effetti, non solo in termini giuridici ma anche in termini più strettamente professionali.

Esistono invece caratterizzazioni della figura medesima del costruttore in ambiti diversi, con prescrizioni e previsioni diverse, in ragione dei diversi obiettivi perseguiti dal legislatore. Solo a titolo di esempio si riportano considerazioni in merito in funzione del documento legislativo oggetto di interesse:

- **DPR 380/01 e s.m.i.:**
  - o Il costruttore è il soggetto titolare del permesso di costruire;
  - o Tale soggetto è responsabile della conformità “delle opere alla normativa urbanistica, alle previsioni di piano nonché, unitamente al direttore dei lavori, a quelle del permesso e alle modalità esecutive stabilite dal medesimo. Essi sono, altresì, tenuti al pagamento delle sanzioni pecuniarie e solidalmente alle spese per l’esecuzione in danno, in caso di demolizione delle opere abusivamente realizzate (art. 29); allo stesso tempo lo stesso testo unico non riporta una definizione tecnico-organizzativa dello stesso.
- **D. lgs. 122/05 “Disposizioni per la tutela dei diritti patrimoniali degli acquirenti di immobili da costruire”:**
  - o individua il costruttore in colui che si pone come soggetto venditore di un immobile da costruire, sia che lo abbia edificato direttamente, sia attraverso appalto o esecuzione ad opera di terzi;

L'amministrazione finanziaria, ovviamente ai soli fini fiscali, considera costruttore l'impresa che svolge attività di "produzione di immobili" per la successiva vendita, a nulla rilevando chi ne abbia effettuato la materiale esecuzione dei lavori.

Da un'analisi quindi dei testi vigenti di legge e congiuntamente dalla giurisprudenza, è possibile individuare quale costruttore il soggetto chiamato ad eseguire un'opera: in altre parole il costruttore è quel soggetto professionale che assume rilievo di fronte alla legge per ciò che va a costruire su incarico e/o per soddisfare un'esigenza di un committente.

Venendo quindi alla Circolare Esplicativa (che sicuramente sotto un profilo di gerarchia delle fonti si pone ad un livello inferiore), questa introduce finalmente la figura del Costruttore del legno, precisando alcuni dei compiti in materia dei prodotti strutturali utilizzati (e relativa documentazione accompagnatoria/tracciabilità lungo la filiera), in linea con quanto espresso dal DPR 380/01. A tal proposito si riporta breve estratto della Circolare (C11.7.10.1 Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati):

*"Il costruttore resta comunque responsabile della qualità degli elementi strutturali in legno posti in opera, qualità che sarà controllata dal Direttore dei Lavori secondo le procedure di cui al § 11.7.10.2. Lo stesso costruttore, nell'ambito delle proprie responsabilità, prima dell'inizio della costruzione dell'opera, deve acquisire idonea documentazione relativa ai componenti, per ciascun elemento strutturale in legno da utilizzare, al fine di ottenere le prestazioni indicate nel progetto. Tale documentazione dovrà essere comprensiva sia della fase di produzione come da §. 11.1 (casi A, B o C) che di quella di centro di lavorazione come da § C11.7.10.1. Inoltre ai fini della rintracciabilità dei prodotti, il costruttore deve assicurare la conservazione della medesima documentazione, unitamente a marchiature o etichette di riconoscimento, fino al completamento delle operazioni di collaudo statico."*

In relazione alle responsabilità si fa presente (nel caso di contratti di appalto come di fatto avviene molte volte avviene all'interno dei rapporti committente - impresa costruttrice del comparto legno) che le stesse vertono principalmente sulla garanzia dell'opera da eventuali difformità e vizi, ovvero deve garantire che la stessa sia esente da vizi, sia con riguardo alle regole dell'arte e alle norme tecniche inderogabili, sia con riguardo al capitolato ed al progetto.

Ciò significa che in caso contrario il committente potrà chiedere che le difformità e i vizi siano eliminati a spese dell'appaltatore, oppure che il prezzo sia diminuito, salvo il risarcimento del danno nel caso di colpa dell'appaltatore. Se vizi e difformità sono tali da rendere l'opera del tutto inadatta alla sua destinazione, il committente potrà chiedere la risoluzione del contratto.

Per gli edifici e le altre cose immobili destinate per loro natura a lunga durata, la garanzia dura dieci anni dal compimento dell'opera: se in questo arco temporale l'opera rovina in tutto o in parte o presenta pericolo di rovina o gravi difetti, per vizio del suolo o per difetto della costruzione, l'appaltatore sarà responsabile nei confronti del committente e dei suoi aventi causa purché sia stata fatta denuncia entro un anno dalla scoperta e la relativa azione sia iniziata entro un anno dalla denuncia. Come è ormai acquisito anche al vissuto quotidiano, le conseguenze di tale forma di garanzia ruotano intorno alla distinzione sulla natura dei difetti dell'opera: se non gravi la garanzia avrà durata di due anni, se gravi di dieci anni. Distinzione che tiene conto, in buona sostanza, dell'obiettivo di far conseguire al committente la consegna di un'opera solida e duratura, anche in relazione ad efficienza, funzionalità.

Per tal motivo, infatti, senza addentrarsi in discorsi e in argomenti tecnico-giuridici, va precisato che all'individuazione dei primi (difetti non gravi) si giunge in via di esclusione rispetto all'individuazione dei secondi (difetti gravi) e che con riguardo a questi ultimi la giurisprudenza ha dato, sì, differenti contenuti e caratterizzazioni, ma comunque pur sempre all'interno dell'univoco concetto per cui il difetto, per considerarsi grave, pur non determinando la rovina o il pericolo di rovina dell'edificio o delle altre cose immobili, deve essere tale da incidere significativamente sul godimento e sulla funzionalità del bene.

A titolo di completezza si riporta art. 1669 del codice civile:

**“Art. 1669 - Rovina e difetti di cose immobili**

*Quando si tratta di edifici o di altre cose immobili destinate per la loro natura a lunga durata, se, nel corso di dieci anni dal compimento, l'opera, per vizio del suolo o per difetto della costruzione, rovina in tutto o in parte, ovvero presenta evidente pericolo di rovina o gravi difetti, l'appaltatore è responsabile nei confronti del committente e dei suoi aventi causa, purché sia fatta la denuncia entro un anno dalla scoperta. Il diritto del committente si prescrive in un anno dalla denuncia.”*

**2.5.4 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE**

Il nuovo corpo normativo delle Norme Tecniche per le Costruzioni riporta al par. 11.7.10.2 “Controlli di accettazione in cantiere” la seguente dicitura, riprendendo (in parte) quanto indicato dalla UNI TR 11499/2013 “Legno strutturale - Linee guida Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere”:

“I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori (...) e sono demandati al Direttore dei Lavori il quale, prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare quanto sopra indicato e a rifiutare le eventuali forniture non conformi”

Il presente paragrafo delle Norme Tecniche per maggiore chiarezza espositiva verrà suddiviso in tre sezioni:

- a) Controlli documentali e prove non distruttive;
- b) Controlli di approfondimento;
- c) Elementi metallici di connessione

Da un punto di vista pratico e in termini generali è necessario precisare che tali controlli (eseguiti appunto in cantiere) non possono avere lo stesso grado di severità e precisione di quanto avviene in stabilimento (con procedure, illuminazione e strumentazioni così come disposto dalle specifiche tecniche applicabili).

**a) Controlli documentali e prove non distruttive:** di seguito e in forma schematica si riportano i controlli che la DL deve eseguire ai fini di una accettazione del materiale in cantiere.

- Legno massiccio: “su ogni fornitura, dovrà essere eseguita obbligatoriamente una classificazione visuale in cantiere su almeno il 5% degli elementi costituenti il lotto di fornitura, da confrontare con la classificazione effettuata nello stabilimento”<sup>2</sup>;
- Legno lamellare: oltre alla documentazione accompagnatoria indicata all’interno del par. 11.7.10.1.2 (“Forniture e documentazione di accompagnamento”), la DL dovrà acquisire la documentazione relativa:
  - o alla classificazione secondo la resistenza delle tavole.
  - o alle prove meccaniche distruttive svolte obbligatoriamente in stabilimento<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Nota: nel caso di legname classificato secondo la resistenza con metodi a macchina il DL potrà verificare la corretta attribuzione degli elementi in massiccio attraverso l’applicazione dei criteri indicati in tabella 1 della UNI EN 14081-1 “Visual override inspection requirements for machine strength graded structural timber”.

<sup>3</sup> Nota: La permanenza della validità del certificato “CE” individua la corretta applicazione delle procedure e delle prove sopramenzionate (sul giunto e sulla linea di colla); è parere della presente Associazione che in presenza di certificato CE non si renderebbe necessario da parte della Direzione Lavori l’acquisizione di ulteriori documenti relativi al controllo di produzione, in quanto già oggetto di verifica da parte del Notified body incaricato al controllo della verifica della costanza della prestazione.

Inoltre, il Direttore Lavori dovrà eseguire il seguente controllo non distruttivo:

- sul 5% della fornitura dovrà essere controllata la disposizione delle lamelle in funzione della classe di servizio a cui è destinato il materiale prodotto e la distanza nodo / giunto.
- **Altri elementi incollati:** similmente a quanto definito sopra per il legno lamellare, nel presente caso la norma riporta quanto di seguito: “Per gli altri elementi giuntati di cui ai paragrafi 11.7.3 (Legno strutturale con giunti a dita), 11.7.5 (Pannelli a base di legno) ed 11.7.6 (Altri prodotti derivanti dal legno per uso strutturale), dovrà essere acquisita la documentazione relativa alla classificazione del materiale base e alle prove meccaniche previste nella documentazione relativa al controllo di produzione in fabbrica, svolte obbligatoriamente in stabilimento relativamente allo specifico lotto della fornitura in cantiere. Inoltre, su almeno il 5% del materiale pervenuto in cantiere, deve essere eseguito il controllo della disposizione delle lamelle nella sezione trasversale e la verifica della distanza minima tra giunto e nodo, secondo le disposizioni delle specifiche tecniche applicabili.”

Più in particolare:

- Per i pannelli in compensato di tavole (CLT) valgono le stesse considerazioni fatte in merito alla classificazione delle tavole, prove distruttive e distanza nodo giunto;
- Elementi duo/trio (“glued solid timber”)<sup>4</sup>: valgono le stesse considerazioni fatte in merito alla classificazione delle tavole, prove distruttive e distanza nodo giunto;

In aggiunta a quanto sin ora definito le Nuove Norme riportano:

*“Infine, su almeno il 5% degli elementi di legno lamellare e degli elementi giuntati di cui ai paragrafi 11.7.3, 11.7.5 ed 11.7.6 forniti in cantiere, deve essere eseguito il controllo dello scostamento dalla configurazione geometrica teorica secondo le tolleranze di cui al § 4.4.”*

Sempre in merito all’argomento, il par. 4.4. 15 “Regole per l’esecuzione” riporta la seguente dicitura:

*“Per tutte le membrature per le quali sia significativo il problema della instabilità, lo scostamento dalla configurazione geometrica teorica non dovrà superare 1/500 della distanza tra due vincoli successivi, nel caso di elementi lamellari incollati, e 1/300 della medesima distanza, nel caso di elementi di legno massiccio.”*

---

Alla luce del tema sembra altresì utile riportare quanto indicato nelle rispettive CNR DT 206 R1/2018 “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di legno” (par. par. 15.2.1.1 – “Controlli sul legno e sui materiali a base di legno”) che conferma quanto indicato nella presente risposta (vedi estratto riportato di seguito):

“i controlli distruttivi effettuati in stabilimento sono di carattere obbligatorio secondo le periodicità definite dalle specifiche tecniche di riferimento. La permanenza della validità del certificato CE indica implicitamente la corretta applicazione delle procedure e delle prove sopramenzionate (sul giunto e sulla linea di colla); pertanto in presenza di certificato CE non è necessario da parte della Direzione Lavori l’acquisizione di ulteriori documenti relativi al controllo di produzione (quali ad es. il registro delle prove interne o la documentazione inerente la classificazione delle tavole)”

<sup>4</sup> Nota: la norma UNI EN 14080: 2013 include all’interno della definizione elementi costituiti da 2 / 5 lamelle (aventi la stessa classe di resistenza) con andamento della fibratura pressoché parallelo e uno spessore delle tavole compreso tra 45 mm fino a 85 mm (incluso). La stessa nuova norma armonizzata di cui sopra prevede l’utilizzo degli stessi assortimenti sollecitati di bordo o in alternativa di piatto. Agli elementi finiti è possibile attribuire una classe di resistenza in conformità a quanto previsto all’interno della UNI EN 338.

Quindi, il controllo richiesto delle tolleranze come disposto dai pertinenti paragrafi sopra citati non deve coinvolgere indistintamente tutti gli elementi in legno forniti in cantiere, ma deve considerare in particolar modo solo quelle “membrature per le quali sia significativo il problema dell’instabilità” (ad esempio un pilastro in legno lamellare). Allo stesso modo ci permettiamo di aggiungere che i presenti controlli risultano essere più attinenti alla fase di realizzazione dell’opera piuttosto che alla stessa accettazione dei materiali in cantiere.

**b) Controlli di approfondimento:** Al termine del paragrafo 11.7.10.1.2 “Controlli di Accettazione in Cantiere”, la revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni individua i casi entro cui è necessario approfondire le caratteristiche dichiarate dalla documentazione accompagnatoria attraverso prove di carattere distruttivo e non distruttivo.

In particolare il testo riporta la seguente dicitura:

*“Nei casi in cui non siano soddisfatti i controlli di accettazione, oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza dei materiali o dei prodotti a quanto dichiarato, oppure qualora si tratti di elementi lavorati in situ<sup>5</sup>, oppure non si abbiano a disposizione le prove condotte in stabilimento relative al singolo lotto di produzione, si deve procedere ad una valutazione delle caratteristiche prestazionali degli elementi attraverso una serie di prove distruttive e non distruttive (...)”*

- Legno massiccio: Per quanto riguarda gli assortimenti in legno massiccio (siano questi a sezione rettangolare o irregolare), la revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni definisce quanto segue: *“Per quanto riguarda il legno massiccio potrà fatto farsi utile riferimento ai criteri di accettazione riportati nella norma UNI EN 384<sup>6</sup>”*
- Elementi incollati: Le NTC circa l’argomento riportano quanto segue: *“Per il legno lamellare e gli altri elementi giuntati di cui ai § 11.7.3, 11.7.4, 11.7.5 ed 11.7.6, in considerazione dell’importanza dell’opera, potranno essere effettuate, da un laboratorio di cui all’articolo 59 del DPR 380/2001, prove di carico in campo elastico anche per la determinazione del modulo elastico parallelo alla fibratura secondo le modalità riportate nella UNI EN 408 o nella UNI EN 380, ciascuna in quanto pertinente<sup>7</sup>.”*

**c) Elementi metallici di connessione** a tal proposito le Norme prevedono il seguente controllo, assumendo una tolleranza massima sulle distanze indicate in sede di progetto pari al 5%. Di seguito si riporta relativa dicitura:

*“In relazione ai collegamenti il Direttore Lavori dovrà assicurarsi che le distanze degli elementi di collegamento (dai bordi o dalle estremità degli elementi lignei, e gli interassi tra i medesimi elementi), siano quelle indicate nel progetto. Può essere prevista una tolleranza sulle distanze indicate in sede di progetto al massimo pari al 5%.”*

Anche entro tale ambito tale criterio sembra essere più attinente ad una fase di esecuzione dell’opera piuttosto che ad un controllo di accettazione.

---

<sup>5</sup> Nota: Per quanto riguarda questo aspetto si rimanda a quanto in essere all’interno dell’Appendice E (“Lavorazioni in cantiere”) della UNI TR 11499.

<sup>6</sup> Nota: vista il numero considerevole di materiale necessario al fine di comprovare la validità della classificazione, nel caso in cui questa non sia eseguita correttamente, si consiglia alla Direzione Lavori semplicemente di non accettare il materiale.

<sup>7</sup> Nota: Si tratta di prove che devono essere eseguite su elementi in dimensioni d’uso che non devono portare a rottura, ma bensì a definirne il modulo elastico parallelo alla fibratura e confrontarlo successivamente con quanto indicato nei rispettive dichiarazioni di prestazione che accompagnano il materiale

La revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni riporta inoltre il seguente passaggio:

*“Per gli elementi meccanici di collegamento di cui al § 11.7.8, in fase di accettazione in cantiere, il Direttore dei lavori verifica la prevista documentazione di qualificazione, la corrispondenza dimensionale, geometrica e prestazionale a quanto previsto in progetto, ed acquisisce i risultati delle prove meccaniche previste nelle procedure di controllo di produzione in fabbrica. Il Direttore dei lavori effettua, altresì, prove meccaniche di accettazione in ragione della criticità, della differenziazione e numerosità degli elementi di collegamento.”*

Per una miglior comprensione di quanto indicato nelle Norme, è necessario un approfondimento del pertinente paragrafo inserito all'interno della Circolare Esplicativa. La stessa infatti definisce quanto di seguito:

*“Per gli elementi meccanici di collegamento all'interno delle zone dichiarate quali dissipative, secondo quanto indicato nel paragrafo 7.7.1, qualora non ne sia definito il comportamento a carichi ciclici secondo le specifiche tecniche applicabili, il Direttore Lavori esegue prove meccaniche di accettazione in ragione della criticità, della differenziazione e numerosità, come altresì riportato nel par. 11.7.10.2.”*

In particolare, il par. 7.7.1 delle medesime norme riporta in relazione ai mezzi di unione meccanici quanto di seguito:

“I mezzi di unione meccanici devono soddisfare i seguenti requisiti:

- a) i connettori a gambo cilindrico devono essere conformi ai requisiti di cui al § 11.7.8 delle presenti norme;
- b) gli elementi di carpenteria metallica, realizzati in composizione anche saldata, devono rispettare le prescrizioni riportate nella presente normativa relativamente alle costruzioni di acciaio.”

In via semplicistica si ricorda che i connettori a gambo cilindrico devono risultare conformi alla UNI EN 14592 (“Strutture di legno - Elementi di collegamento di forma cilindrica – Requisiti”) e recare opportuna marcatura CE (obbligatoria dal 01/07/2013).

Tale standard di prodotto, attualmente in fase revisione nel pertinente gruppo di lavoro europeo (TC124/WG4 “Connectors”), riporterà una specifica procedura di prova dedicata a verificare la tenuta a fatica degli elementi metallici a gambo cilindrico.

Ai fini di tale caratterizzazione, già oggi molti produttori di carpenteria metallica stanno procedendo a “testare” i propri elementi a gambo cilindrico secondo tali prove a fatica oligociclica in via autonomo e secondo gli stessi criteri riportati dalla prossima revisione della EN 14592.

Per tale motivo e in presenza di tale attività di testing non sono necessarie ulteriori prove di accettazione da parte della DL. Naturalmente tale approfondimento non si applica qualora la struttura venga progettata in campo elastico (fattore di comportamento  $q_0 = 1.5$ ).

## 3 CONCEZIONE INGEGNERISTICA DELL'OPERA E PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA

### 3.1 CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

Gli edifici in legno possiedono generalmente adeguate capacità prestazionali nei confronti dei terremoti. Si tratta di strutture tipicamente leggere e regolari, con un numero elevato di elementi resistenti verticali che assolvono contemporaneamente la funzione controventante, in cui ciascun elemento costruttivo viene collegato mediante elementi meccanici a comportamento duttile. Nonostante tali sistemi costruttivi siano raramente interessati da collassi strutturali, l'edificio può rivelarsi inadeguato agli effetti delle azioni sismiche nei confronti del danneggiamento e della richiesta di agibilità post-sisma. È stato il caso, ad esempio, di molti degli edifici in legno compromessi a seguito dei terremoti di Northridge (1994) e di Kobe (1995). Molte delle strutture colpite e danneggiate in modo considerevole durante tali eventi sono state prima demolite e poi ricostruite nella fase di intervento post sisma poiché ritenute irrecuperabili. I collassi degli edifici colpiti da tali terremoti sono in gran parte imputabili a una errata concezione/progettazione strutturale di base o dalle scadenti caratteristiche costruttive della struttura (ad esempio la presenza di insufficienti pareti sismoresistenti al piano terra per la realizzazione delle pareti per i garage nel caso del terremoto di Northridge e la presenza di manti di copertura molto pesanti in tegole di ardesia, come presidio contro i tifoni unita alla scarsa presenza di pareti sismoresistenti nel caso del terremoto di Kobe).

Nell'approccio moderno alla progettazione sismica si applicano misure specifiche per limitare al massimo l'interruzione delle attività normalmente svolte nell'edificio, a seguito di un evento sismico con alta probabilità di accadimento, e per evitarne il collasso al verificarsi di terremoti con bassa probabilità di accadimento. Al variare della classe d'uso dell'edificio può essere richiesta la piena o parziale operatività. I nuovi edifici devono quindi essere concepiti in modo da assicurare un prestabilito stato di danneggiamento al variare del livello di intensità sismica di riferimento, indipendentemente dalla tipologia costruttiva utilizzata e dal numero di piani. Il livello di danneggiamento permette di esprimere un giudizio sull'operatività della struttura, sul suo stato di sicurezza, nonché sul raggiungimento/superamento della capacità finale a cui segue il collasso. Gli edifici nuovi devono essere progettati in accordo alla normativa vigente in modo da mitigare il rischio sismico e rendere sicure le attività per le quali la struttura è stata progettata. Le nuove costruzioni in legno sono realizzate con tecniche e tipologie costruttive che hanno subito un'evoluzione rivolta essenzialmente alla prefabbricazione degli elementi strutturali e alla standardizzazione delle operazioni di montaggio. Molti sistemi hanno subito la trasformazione delle tecniche di assemblaggio degli elementi e l'utilizzo di elementi compositi in sostituzione degli elementi in legno massiccio.

### 3.2 PROGETTAZIONE IN CAPACITÀ

I criteri di progettazione in zona sismica stabiliti dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni al Capitolo 7 e dall'Eurocodice 8 prevedono che le strutture debbano essere progettate per resistere alle azioni sismiche di progetto secondo una delle due seguenti possibilità alternative:

- a) **Comportamento strutturale dissipativo;**
- b) **Comportamento strutturale non dissipativo.**

Cosa significa tutto questo?

I terremoti sono dei fenomeni naturali, fortunatamente abbastanza rari, che producono delle azioni orizzontali eccezionali sulle strutture che possono essere di forte intensità, in funzione del luogo dove si verificano e della sua sismicità, delle caratteristiche del terreno su cui l'edificio è realizzato e naturalmente delle caratteristiche dinamiche e dalle masse proprie e portate dalle strutture. Queste azioni eccezionali possono essere sopportate progettando le strutture molto robuste in maniera da resistere alle azioni sismiche in campo elastico (**comportamento strutturale non-dissipativo**); tuttavia se questo è sicuramente possibile in zone a bassa sismicità, nelle zone ad alta sismicità porterebbe, soprattutto per le opere più importanti come ad esempio gli edifici di molti piani, ad una progettazione troppo dispendiosa e difficilmente applicabile nella pratica.

Allora in questi casi la filosofia di progettazione comunemente adottata, alla base della progettazione delle strutture in zona sismica secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni e l'Eurocodice 8, è quella di accettare per terremoti di elevata intensità un certo danno sulle strutture, in alcuni "punti chiave" che attraverso un comportamento duttile, ovvero attraverso la capacità di deformarsi sotto carico in campo post-elastico senza sostanziale riduzione di resistenza prima di

arrivare a rottura quando tutte le altre componenti strutturali che non hanno duttilità o hanno un basso livello di duttilità (elementi fragili) sono ancora ben lontane dal raggiungimento della rottura, consentono alla struttura nel suo insieme di dissipare energia (**comportamento strutturale dissipativo**).

Questa strategia progettuale si chiama **progettazione in capacità** o in inglese **capacity design**.

In funzione del livello di dissipazione energetica della struttura nel suo insieme, le tipologie strutturali a comportamento strutturale dissipativo vengono classificate in Classi di Duttilità Media o Alta sia nelle Norme Tecniche per le Costruzioni che nell'Eurocodice 8.

Naturalmente per applicare la progettazione in capacità bisogna definire quali siano i componenti del sistema strutturale ai quali debba essere consentito il comportamento dissipativo in campo post-elastico (componenti duttili) e quali debbano invece rimanere in campo elastico e ben lontani dalla rottura, essendo dotati di scarsa duttilità (componenti fragili), ovvero bisogna definire i **criteri di gerarchia delle resistenze**. È abbastanza intuitivo comprendere come queste regole varino in funzione del sistema strutturale adottato e pertanto debbano essere definite per ciascun sistema strutturale che si voglia progettare con comportamento strutturale dissipativo e per ciascuna classe di duttilità. In generale per le strutture di legno, come spiegato sia nelle Norme Tecniche per le Costruzioni e nell'Eurocodice 8, le membrature lignee, avendo un comportamento lineare-elastico fino a rottura, sono gli elementi fragili e le connessioni meccaniche sono gli elementi duttili. Tuttavia non tutte le connessioni meccaniche hanno lo stesso livello di duttilità, pertanto, in funzione della tipologia strutturale, alcune tipologie di connessioni a basso livello di duttilità o essenziali per garantire determinati comportamenti (ad es. il comportamento scatolare dell'edificio) vengono progettate come elementi fragili ed altre, a maggior livello di duttilità, come elementi duttili.

Per applicare la progettazione in capacità, ovvero per ottenere un comportamento dissipativo della struttura nel suo insieme, come si diceva in precedenza, gli elementi a comportamento fragile devono essere progettati per essere più resistenti degli elementi duttili, perché devono essere ben lontani dalla rottura quando gli elementi duttili "si danneggiano". Pertanto, se  $R_d$  è la resistenza di progetto degli elementi duttili e  $R_f$  è la resistenza di progetto degli elementi fragili, la resistenza  $R_f$  di progetto degli elementi fragili deve essere pari alla resistenza  $R_d$  degli elementi duttili opportunamente amplificata mediante un opportuno coefficiente di sicurezza  $\gamma$  maggiore di uno, secondo la seguente espressione:

$$R_f = \gamma \cdot R_d \quad \text{con } \gamma > 1 \quad (1)$$

Questo coefficiente  $\gamma$  si chiama **fattore di sovraresistenza** ( $\gamma_{Rd}$  per le Norme Tecniche per le costruzioni e per l'Eurocodice 8) e, come per i criteri di gerarchia delle resistenze, deve essere anch'esso definito per ciascun sistema costruttivo e per ciascuna classe di duttilità (si veda il § 2.3.1 per i corrispondenti valori riportati nelle Norme Tecniche per le Costruzioni).

La misurazione del "livello di dissipazione energetica" di ciascun sistema costruttivo progettato con comportamento dissipativo è data dal **fattore di comportamento q (behaviour factor** in inglese) che viene definito per ciascun sistema costruttivo e ciascuna classe di duttilità (si veda il § 2.3.2 per i valori relativi per classe di duttilità media e alta relativi ai diversi sistemi costruttivi contemplati nelle Norme Tecniche per le Costruzioni).

In pratica, basandosi sulle ipotesi di Newmark che ha osservato come gli spostamenti relativi massimi di una massa strutturale siano sostanzialmente gli stessi sia per un oscillatore elastico che per un oscillatore elasto-plastico (si veda la Fig. 3.1), è possibile progettare la struttura in campo elastico con un'analisi elastica lineare, usando forze minori di quelle necessarie assumendo un comportamento perfettamente elastico, ridotte rispetto a queste in proporzione alla duttilità disponibile.

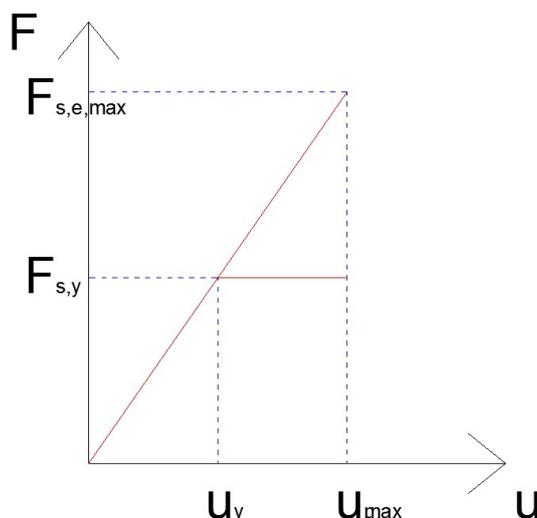


Fig. 3.1 – Legame tra forza e spostamenti in un oscillatore elastico e in uno elasto-plastico.

$$\frac{F_{s,e,max}}{F_{s,y}} = \frac{u_{max}}{u_y} = \mu \quad (2)$$

dove  $\mu$  è la duttilità, quindi:

$$F_{s,y} = \frac{F_{s,e,max}}{\mu} = \frac{m \cdot S_d(T)}{\mu} \quad (3)$$

dove  $m$  è la massa strutturale e  $S_d(T)$  è l'ordinata dello spettro di risposta in termini di accelerazione, funzione del periodo proprio della struttura  $T$ .

A livello di struttura nel suo insieme, l'equazione (3) si può tradurre in:

$$F_{s,y} = \frac{m \cdot S_d(T)}{q} \quad \text{con } q \text{ fattore di comportamento} \quad (4)$$

Quindi la capacità di dissipazione energetica dell'intera struttura è implicitamente considerata dividendo le forze sismiche ottenute da un'analisi lineare (statica o dinamica) per il fattore di comportamento  $q$  associato alla relativa classe di duttilità che, secondo la definizione dell'EC8 "tiene conto della risposta non-lineare della struttura, associata al materiale, alla tipologia strutturale e al procedimento di progettazione adottato". Questo metodo di progettazione è chiamato metodo delle forze ed è alla base della progettazione sismica delle Norme Tecniche delle Costruzioni e dell'Eurocodice 8.

### 3.3 REGOLE DI DUTTILITÀ PER LE ZONE DISSIPATIVE

Al fine di garantire una duttilità globale della struttura coerente con i valori dei fattori di comportamento adottati per i diversi sistemi costruttivi, le zone duttili individuate come dissipative devono essere in grado di deformarsi sufficientemente in campo plastico. È necessario dunque valutare il comportamento delle connessioni (comportamento locale) per giungere alla duttilità della struttura (comportamento globale) definita dal fattore di struttura per le differenti classi di duttilità.

Per fare questo le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono per le strutture di legno al §7.7.3.1 due possibilità alternative:

- a. Valutare mediante prove eseguite secondo documenti normativi di comprovata validità (per il caso delle strutture di legno la norma UNI EN 12512 "Strutture di legno - Metodi di prova - Prove cicliche di giunti realizzati con elementi meccanici di collegamento" o altri documenti normativi internazionali di comprovata validità), che le zone duttili considerate dissipative siano in grado di deformarsi plasticamente per almeno tre cicli a inversione completa, con un rapporto di duttilità statica pari a 4, per le strutture in CD "B", e pari a 6, per le strutture in CD "A", senza che si verifichi una riduzione della loro resistenza maggiore del 20%.

Ovvero per dimostrare il soddisfacimento di questa regola vanno eseguite delle prove sperimentali cicliche sulle zone dissipative, secondo il protocollo di prova stabilito da documenti normativi come la succitata UNI EN 12512, attraverso le quali si possano determinare la duttilità, la riduzione di resistenza e le proprietà dissipative di giunti realizzati con elementi di collegamento meccanico. Attraverso queste prove si determina la riduzione di resistenza mediante una prova ciclica a tre cicli ad inversione completa e si determina la riduzione di resistenza come la differenza percentuale tra il carico raggiunto al primo ciclo e il carico raggiunti al terzo ciclo allo stesso livello di spostamento. Quindi tracciando la curva di involucro dei primi cicli e la curva di involucro dei terzi cicli, si può determinare per ciascun livello di spostamento questa differenza percentuale; quando la differenza percentuale raggiunge il valore del 20%, si misura il rapporto di duttilità statica e si controlla pertanto se la regola è rispettata (si veda la Fig. 3.2).

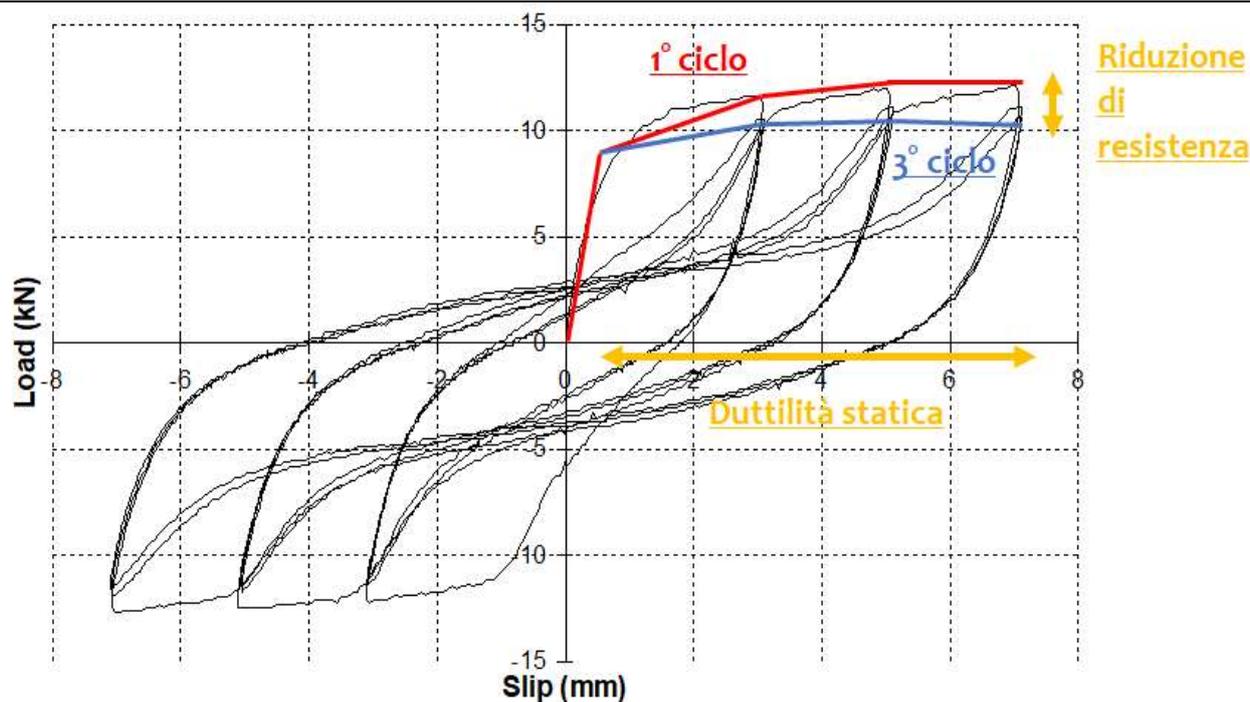


Fig. 3.2 – Determinazione del rapporto di duttilità statica ad un valore di riduzione di resistenza del 20% secondo la UNI EN 12512 “.

b. In alternativa al punto 1, non disponendo di prove sperimentali cicliche sulle zone dissipative, le disposizioni di cui al punto 1 possono considerarsi soddisfatte nelle zone dissipative di ogni tipologia strutturale se si rispettano le seguenti prescrizioni:

a) i collegamenti legno-legno o legno-acciaio sono realizzati con perni o con chiodi presentanti diametro  $d$  non maggiore di 12 mm ed uno spessore delle membrature lignee collegate non minore di  $10d$ ;

b) nelle pareti e nei diaframmi con telaio in legno, il diametro  $d$  dei chiodi non è superiore a 3,1 mm e il materiale di rivestimento strutturale è di legno o di materiale da esso derivato, con uno spessore minimo pari a  $4d$ .

Qualora alcune o tutte le precedenti prescrizioni non siano rispettate, ma sia almeno assicurato lo spessore minimo degli elementi collegati pari, rispettivamente, a  $8d$  per il caso a) e a  $3d$  per il caso b), le zone dissipative saranno da considerare in classe di duttilità Media (classe di duttilità “B” secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni).

In alternativa alle prescrizioni del punto 2, per le zone dissipative di classe CD “B”, i collegamenti meccanici a gambo cilindrico possono essere progettati per garantire lo sviluppo di almeno una cerniera plastica nel gambo dei connettori

metallici in accordo ai meccanismi di collasso secondo la teoria di Johansen riportati in norme di comprovata validità come ad esempio l'Eurocodice 5 e le Istruzioni CNR-DT 206.

Al fine di garantire la plasticizzazione nelle zone dissipative, qualsiasi modalità di rottura fragile del collegamento deve essere evitata, come ad esempio (i) fessure da spacco longitudinale (splitting in inglese), (ii) espulsione di tasselli di legno (plug shear in inglese), (iii) rotture a strappo di gruppo (group tear out in inglese) e (iv) rotture a trazione (tension in inglese). Per questo è fondamentale rispettare alcune regole di dettaglio sulle spazature dei connettori e sulle distanze dai bordi.

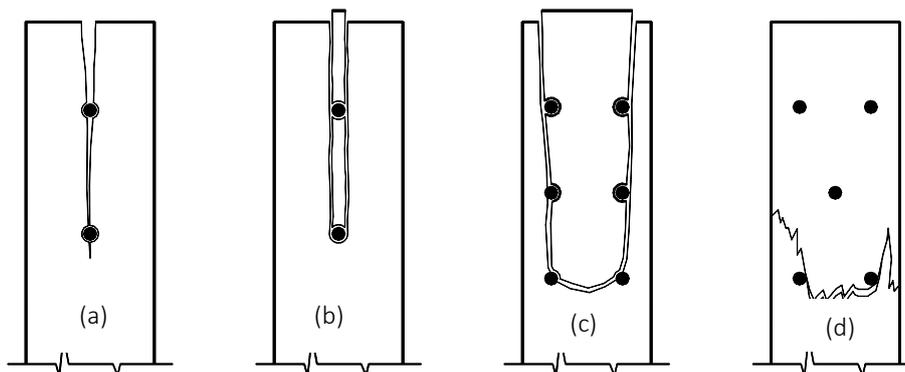


Fig. 3.3 – Rotture fragili in una connessione meccanica .(a) spacco longitudinale, (b) espulsione di tasselli di legno, (c) strappo di gruppo, (d) trazione

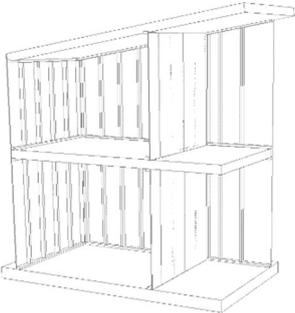
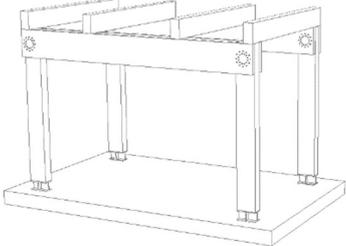
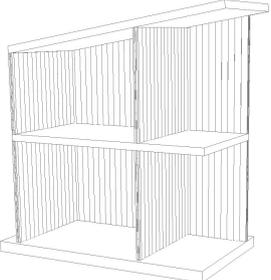
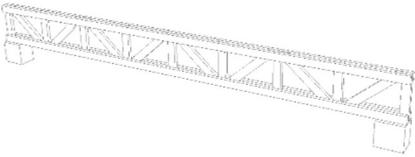
### 3.4 SISTEMI COSTRUTTIVI E FATTORI DI COMPORTAMENTO

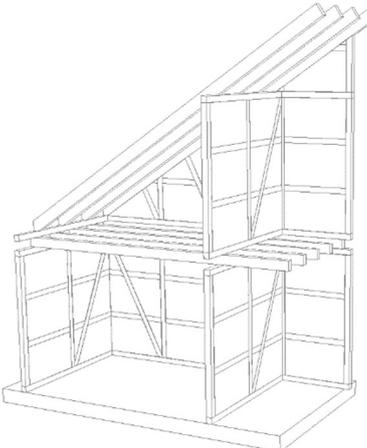
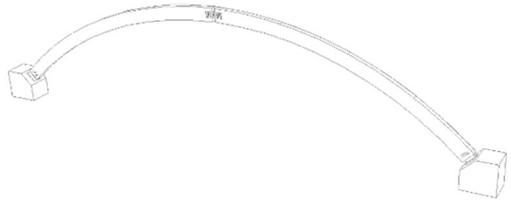
Una volta garantito il rispetto delle regole di duttilità per le zone dissipative le tipologie strutturali per edifici in legno progettate per un comportamento strutturale dissipativo possono essere classificate nelle due Classi di Duttilità previste, Classe di Duttilità Alta (CD “A”) e Media (CD “B”) con i corrispondenti valori massimi del fattore di comportamento  $q_0$  da applicare nella progettazione con il metodo delle forze. Tuttavia il solo rispetto delle regole di duttilità per le zone dissipative non è sufficiente ma occorre definire, per i diversi sistemi costruttivi, le regole di gerarchia delle resistenze, ovvero per ciascuna Classe di Duttilità prevista per quel sistema costruttivo, per le quali si rimanda al paragrafo successivo.

La Tabella 3.1 riportata di seguito chiarisce con uno schematico disegno esplicativo, le tipologie e i corrispondenti valori del fattore di comportamento già riportate nella Tabella 2.3, fornendo una descrizione del sistema costruttivo e fornendo i valori del fattore di comportamento da adottare nella progettazione per le Classi di Duttilità “A” e “B”, con alcune interpretazioni correttive. Ad esempio, nella Tabella 2.3 il sistema costruttivo a telaio leggero, identificato con la denominazione “Pannelli di parete a telaio leggero chiodati” viene riportato due volte, una con “diaframmi incollati” con valori del fattore di comportamento rispettivamente 3,0 e 2,0 in CD “A” e “B” e una con “diaframmi chiodati” con valori del fattore di comportamento rispettivamente 5,0 e 3,0 in CD “A” e “B”.

Ammettere che ci sia una differenza di valore del fattore di comportamento tra “diaframmi chiodati e “diaframmi incollati” significa necessariamente ammettere che, nel caso di diaframmi chiodati, questi abbiano un comportamento dissipativo. Tuttavia la progettazione tradizionale delle strutture non concepisce solitamente la dissipazione energetica nei diaframmi, i quali devono essere progettati con adeguata sovra-resistenza, essendo solitamente considerati rigidi nel proprio piano nell’analisi. Nell’Eurocodice 8 (UNI EN 1998-1-1) al § 4.2.1.5 viene specificato “...le membrature e gli elementi di controvento che giacciono nei piani orizzontali devono essere in grado di trasmettere, con sufficiente sovra resistenza, gli effetti dovuti all’azione sismica di progetto ai sistemi di controvento cui sono connessi...”. Per tale ragione sembrerebbe ragionevole considerare, a meno di analisi non lineari che dimostrino la capacità dissipativa globale della struttura anche nel caso di solai in grado di dissipare energia, la tipologia strutturale relativa ai soli diaframmi incollati.

Tab 3.1 – Tipologie strutturali, descrizione schematica e fattori massimi di comportamento e

Tipologia strutturale	CD"A"	CD"B"
<p><b>Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni.</b></p>  <p>DESCRIZIONE: Strutture nelle quali gli elementi sismoresistenti primari e gli elementi resistenti ai carichi verticali sono formati da pareti resistenti a taglio costituite da un telaio ligneo formato da elementi verticali equispaziati, un corrente inferiore e uno superiore ai quali un pannello strutturale a base di legno (compensato, OSB o pannelli di particelle) o di gessofibra è collegato con elementi di collegamento a gambo cilindrico di piccolo diametro come chiodi, viti o graffe. I diaframmi orizzontali possono essere realizzati con la stessa tecnologia delle pareti o con pannelli X-Lam o con altro materiale (es., solai misti legno-clt).</p>	3,0	2,0
<p><b>Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico.</b></p>  <p>DESCRIZIONE: Strutture nelle quali gli elementi sismoresistenti primari sono formati da telai e gli elementi resistenti ai carichi verticali in cui gli elementi lignei sono connessi con giunti-semirigidi resistenti a momento realizzati con elementi di collegamento a gambo cilindrico. Il collegamento dei pilastri alle fondazioni può essere incernierato o semi-rigido.</p>	4,0	2,5
<p><b>Pannelli di parete incollati a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni.</b></p>  <p>DESCRIZIONE: Strutture nelle quali gli elementi sismoresistenti primari e gli elementi resistenti ai carichi verticali sono formati da pareti resistenti a taglio costituite da pannelli lamellari incrociati (XLam) collegati fra loro e alle fondazioni mediante sistemi di connessione metallici collegati ai pannelli lignei e alle fondazioni mediante chiodi, viti e bulloni.</p>	-	2,5
<p><b>Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti.</b></p>  <p>DESCRIZIONE: Travi reticolari di grande luce in cui gli elementi lignei sono collegati fra loro mediante giunti semirigidi realizzati con elementi di collegamento metallico a gambo cilindrico.</p>		2,5

<p><b>Strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti.</b></p>  <p>DESCRIZIONE: Strutture nelle quali gli elementi sismoresistenti primari e gli elementi resistenti ai carichi verticali sono formati da pareti composte da telai lignei realizzati con connessioni di carpenteria e riempimento in muratura.</p>		2,5
<p><b>Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, e altre tipologie strutturali.</b></p>  <p>DESCRIZIONE: Strutture isostatiche come ad esempio archi a tre cerniere con connessioni realizzate con elemento di collegamento a gambo cilindrico.</p>	-	1,5

### 3.5 SISTEMI COSTRUTTIVI E REGOLE DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE

Per applicare compiutamente la progettazione in capacità occorre quindi definire i diversi sistemi costruttivi e per ciascuno di questi le regole di gerarchia delle resistenze, ovvero la definizione per ciascuna classe di duttilità (Media e Alta) dei componenti strutturali a comportamento duttile individuati come zone dissipative e quelli a comportamento fragile o meno duttile individuati come zone non dissipative da progettare in sovraresistenza. Vediamo quali possono essere queste regole per i sistemi costruttivi più comuni, derivate da una proposta di modifica del Capitolo per la progettazione delle strutture di legno dell'Eurocodice 8, parzialmente presentata in Follesa et al., 2018 e adattati, ove necessario, alle regole contenute nelle Norme Tecniche per le Costruzioni.

#### 3.5.1 EDIFICI A PANNELLI DI TAVOLE INCOLLATE A STRATI INCROCIATI (XLAM)

##### 3.5.1.1 Caratteristiche generali

Gli edifici a pannelli di tavole incollate a strati incrociati (XLam) sono edifici in cui le pareti, e generalmente anche i solai, sono formati da pannelli di tavole incollate a strati incrociati (o pannelli XLam o CLT) che costituiscono gli elementi resistenti ai carichi verticali trasmessi dai solai dei vari piani e, attraverso le pareti, scaricati linearmente in fondazione e anche gli elementi resistenti alle azioni orizzontali, attraverso la resistenza propria del pannello a taglio nel piano e dei collegamenti ai solai di competenza e alle fondazioni. Naturalmente come elementi verticali resistenti ai carichi verticali possono essere utilizzati anche pilastri in legno lamellare.

Le pareti devono essere collegate alle fondazioni e ai solai di competenza mediante connettori metallici che dovranno contrastare il sollevamento e lo scorrimento causato da azioni orizzontali agenti nel piano del pannello mediante rispettivamente piastre angolari allungate posizionate in corrispondenza delle estremità delle pareti (hold-down) e piastre angolari distribuite lungo lo sviluppo delle pareti (angolari a taglio).

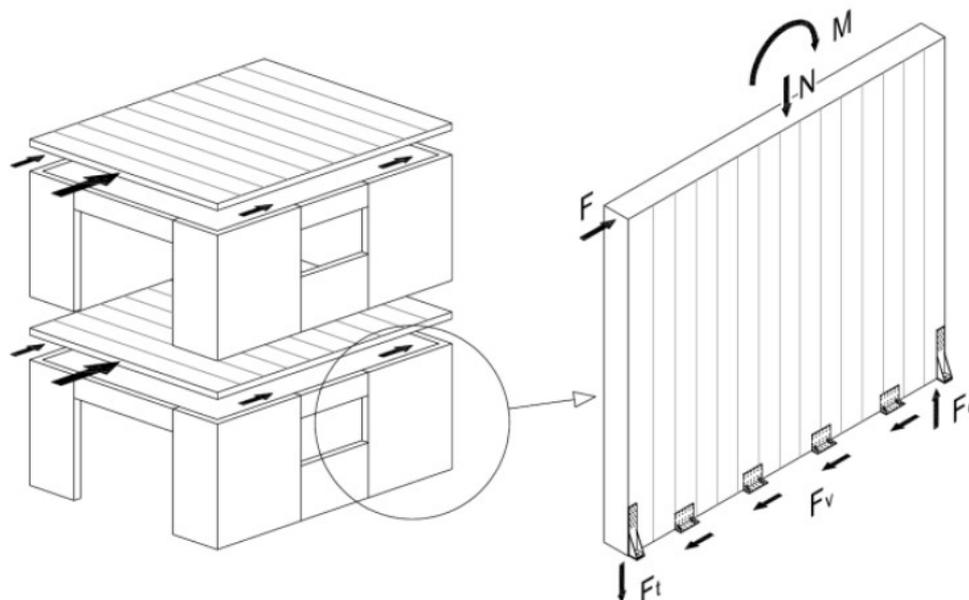


Fig. 3.4 – Trasmissione delle forze orizzontali mediante elementi metallici di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

Il collegamento tra pannelli di parete e solai è fondamentale non solo per la trasmissione delle forze verticali, ma anche per la trasmissione delle forze orizzontali.

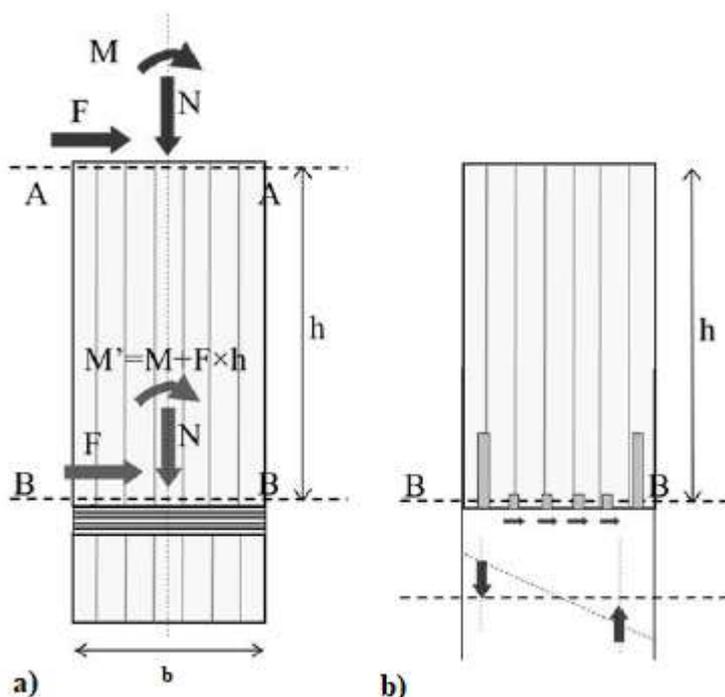


Fig. 3.5 – a) Forze esterne agenti sulle sezioni A-A e B-B di una generica parete in legno; (b) azioni interne in presenza di ancoraggi a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

Il sistema è un sistema a piattaforma in cui le pareti hanno l'altezza di un piano e può essere classificato in base a due diverse modalità costruttive:

- Edifici a pareti segmentate, ovvero edifici in cui le pareti verticali sono formate da più pannelli XLam di larghezza non inferiore a  $\frac{1}{4}$  dell'altezza della parete connesso ai pannelli adiacenti per mezzo di giunti verticali realizzati con elementi di collegamento a gambo cilindrico con viti o chiodi ed eventualmente pannelli a base di legno;
- Edifici a pareti monolitiche, ovvero edifici in cui le pareti verticali sono costituite da un unico pannello (fino alle massime dimensioni producibili e trasportabili, ovvero in genere altezze non superiori a 3,5 m e lunghezze non superiori a 12 m) in cui sono ricavate tutte le aperture per porte e finestre.

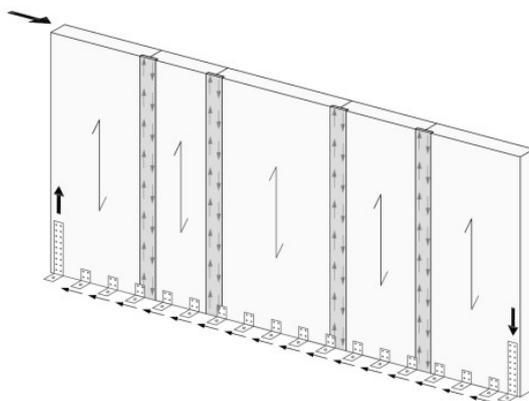


Fig. 3.6 – Distribuzione delle azioni interne in una parete realizzata mediante più pannelli XLam nel caso di presenza di giunti verticali.

Nel caso di pareti segmentate il collegamento verticale tra pannelli parete se dimensionato e realizzato correttamente, garantisce la trasmissione delle forze di taglio tra un pannello e quello adiacente: in tal caso quindi l'ancoraggio a trazione può essere posto agli estremi dell'intera parete.

In funzione del rapporto fra la rigidità dei giunti verticali e la rigidità degli hold-down, il comportamento della parete può essere di tipo accoppiato, misto o a parete singola. Pertanto per analizzare il reale comportamento della parete segmentata e la distribuzione delle azioni al suo interno, va attentamente considerato il valore di tale rapporto (Casagrande et al. 2018).

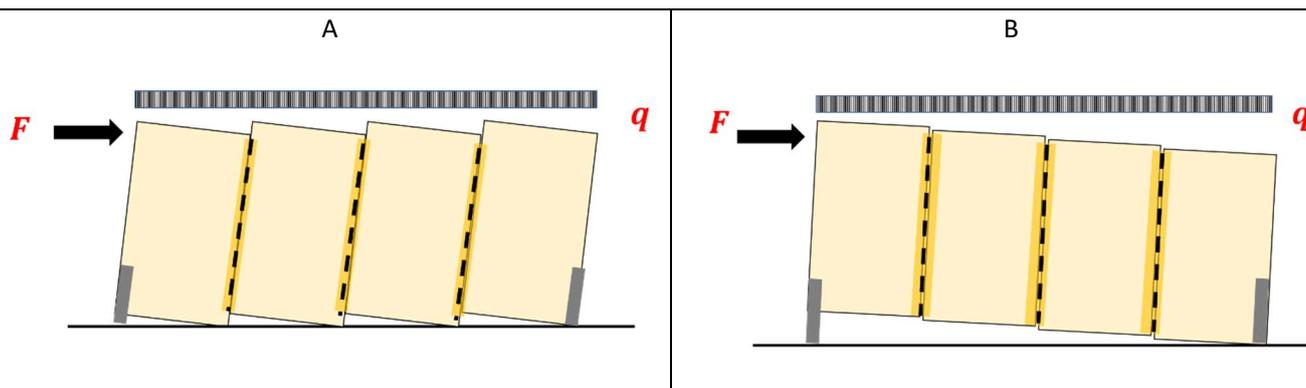


Fig. 3.7 – A – Parete segmentata a comportamento accoppiato. B Parete segmentata a comportamento a parete singolo (Casagrande et al. 2018).

Anche i collegamenti fra pareti ortogonali e fra solai e pareti sottostanti sono realizzati con connessioni meccaniche realizzate o con elementi di collegamento a gambo cilindrico (generalmente viti) o con angolari metallici.

Nel caso dei solai i collegamenti tra pannelli affiancati al compito di limitare gli scorrimenti tra pannelli adiacenti in modo da garantire un comportamento a diaframma dell'orizzontamento soggetto ad azioni laterali, specialmente nel caso di

azioni sismiche e, in taluni casi, anche a quello di limitare i cedimenti differenziali tra pannelli adiacenti (azioni fuori dal piano).

Con riferimento all'edificio nel suo complesso, con particolare riguardo sia alle problematiche tecnologiche che strutturali, si possono individuare alcuni particolari tipologici per i quali vengono di seguito riportate alcune soluzioni costruttive più comuni. Si premette che l'illustrazione dei particolari costruttivi è limitata ai dettagli dei sistemi meccanici di collegamento: non sono dunque riportati i particolari relativi al posizionamento di altri elementi legati alla protezione della parete e alla fisica tecnica della costruzione (guaine, teli, nastri, strati di isolamento, finiture ecc.).

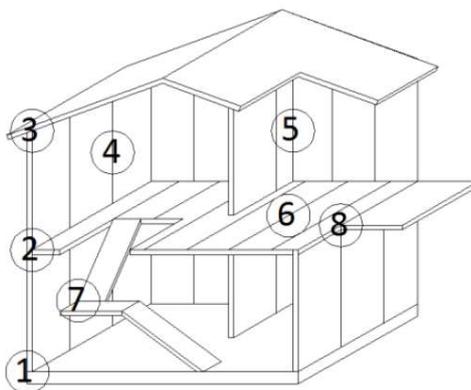


Fig. 3.8 – Nodi strutturali principali in un edificio in legno

Si possono distinguere principalmente le seguenti tipologie di collegamenti (vedi Fig. 3.8):

- Collegamenti tra pannelli verticali e diaframmi orizzontali (particolari 1, 2 e 3)
- Collegamenti tra pannelli verticali (particolari 4 e 5)
- Collegamenti tra pannelli orizzontali (particolare 6)
- Collegamenti relativi a scale e balconi (particolari 7 e 8)

#### 3.5.1.1.1 Collegamenti tra pareti e fondazione

È forse il collegamento più importante di tutta la costruzione, sia in relazione ad eventuali problematiche relative alla durabilità che in relazione alla resistenza meccanica dei collegamenti, particolarmente nel caso di edifici multipiano. I collegamenti da prevedere, come già illustrato in Fig. 3.4, servono ad ancorare la parete per azioni orizzontali agenti nel suo piano e sono di due tipologie: (i) collegamenti di presidio al ribaltamento, realizzati generalmente mediante piastre angolari allungate denominate *hold-down*, poste alle estremità delle pareti ed in corrispondenza delle aperture, che vengono chiodate alla parete e collegate al calcestruzzo mediante tasselli metallici con fissaggio chimico o meccanico e (ii) collegamenti di presidio allo scorrimento, , realizzati generalmente mediante angolari metallici distribuiti lungo la parete e collegati con modalità simili agli *hold-down* alle pareti e alle fondazioni.

Dal punto di vista della durabilità della costruzione, è particolarmente importante che il piano di posa della parete in legno si trovi sempre ad una quota superiore “di sicurezza” rispetto al piano finito del marciapiede esterno (solitamente minimo 5 cm). Idealmente, per un maggiore presidio alla durabilità, il piano di posa della parete andrebbe posto ad una quota superiore anche rispetto al piano finito interno del pavimento, in modo da dare una totale garanzia anche nel caso di allagamenti o perdite d’acqua dall’interno dell’edificio. Per questo motivo da questa trattazione si esclude come possibile soluzione il collegamento diretto della parete alla fondazione che quindi escluderebbe tale possibilità, perché anche la totale protezione della parete con guaine di impermeabilizzazione non garantisce del tutto da possibili condizioni di degrado che si possono verificare o per difetti nel posizionamento della guaina o per eventuali fenomeni di condensa nel pacchetto della parete.

Una possibile soluzione è rappresentata, nel caso di edifici di pochi piani (generalmente 1-2), dall'utilizzo di una soglia in legno (Fig. 3.9 A), solitamente realizzata con specie legnose naturalmente più durabili, come ad esempio il larice. In tal caso si possono avere dei vantaggi nel montaggio legati al fatto che una volta posata e "messa in bolla" la soglia, il posizionamento della parete è più veloce ed il suo fissaggio è fatto su un elemento in legno (e non in calcestruzzo). In tale caso si deve prevedere un collegamento a taglio tra la soglia e la fondazione, generalmente realizzato mediante tasselli fissati in maniera meccanica o chimica; mentre il collegamento a taglio tra parete e cordolo è generalmente realizzato mediante viti inclinate inserite dai due lati della parete mentre il collegamento a trazione avviene tipicamente mediante hold-down fissati direttamente alla fondazione. Questa soluzione porta indubbiamente dei vantaggi nella posa in opera, ma è limitata dalla resistenza a compressione ortogonale del legno che ne limita l'utilizzo a pochi piani e non risolve del tutto le eventuali problematiche di durabilità evidenziate dal collegamento diretto della parete, pur rappresentandone sicuramente un miglioramento.

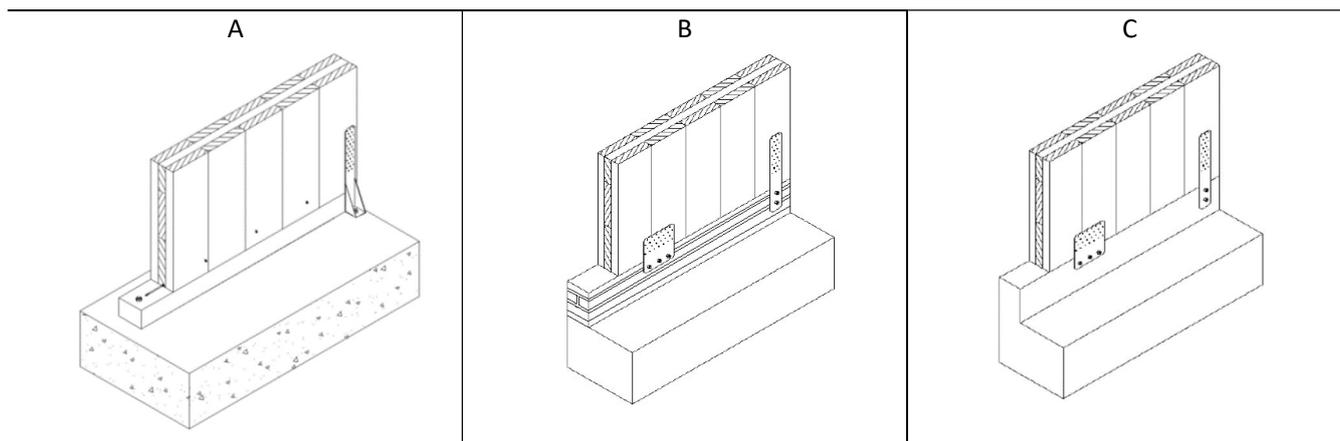


Fig. 3.9 – Soluzioni per il collegamento alle fondazioni. A collegamento con soglia in legno. B collegamento con soglia in acciaio o alluminio. C collegamento con cordolo di calcestruzzo

Una seconda possibilità è rappresentata dall'utilizzo da una soluzione simile alla soglia in legno, ma realizzata mediante un cordolo o in alluminio o in acciaio (Fig. 3.9 B). Questa soluzione, che a seconda delle tipologie brevettate esistenti in commercio consente di realizzare un cordolo ventilato e di facilitare ulteriormente la posa mediante sistemi di regolazione meccanici e il collegamento mediante elementi appositamente dedicati, rappresenta un sicuro miglioramento rispetto alla soglia in legno dal punto di vista della durabilità e anche della resistenza a compressione, consentendo la realizzazione di edifici più alti rispetto al caso della soglia in legno, anche se anche queste soluzioni hanno un limite di resistenza a compressione che non ne consente l'utilizzo per edifici molto alti. Ha tuttavia il limite delle dimensioni commerciali di questi cordoli che hanno generalmente un'altezza limitata, rendendo necessaria la realizzazione di un letto di malta cementizia per pose ad altezze maggiori e una larghezza limitata, rendendone possibile l'applicazione non per tutti gli spessori di parete XLam. Il collegamento a taglio del cordolo avviene solitamente mediante tasselli fissati con ancoraggio chimico o meccanico e il collegamento della parete al cordolo mediante piastre metalliche chiodate alla parete e imbullonate al cordolo o mediante angolari metallici chiodati alla parete e fissati direttamente alla fondazione mediante tasselli. Il collegamento a trazione è realizzato o mediante hold-down tradizionali fissati direttamente alla fondazione o mediante hold-down a piastra imbullonati al cordolo e in entrambi i casi chiodati alla parete.

Una terza soluzione è rappresentata da un cordolo in calcestruzzo (Fig. 3.9 C), possibilmente della stessa larghezza della parete, in modo da consentirne il posizionamento alla quota voluta senza che questo aspetto condizioni il collegamento: in tal caso i collegamenti a taglio e trazione sono realizzati generalmente mediante piastre metalliche chiodate alla parete e tassellate al calcestruzzo. Questa soluzione consente di superare le problematiche relative al posizionamento in altezza della parete e al suo collegamento meccanico ed è anche una soluzione ideale per il collegamento di edifici alti in quanto la problematica dello schiacciamento del cordolo viene completamente superata, ma presenta sicuramente qualche problematica in più dal lato della posa, essendo difficile realizzare dei cordoli lineari e perfettamente allineati con le pareti, essendo difficile per spessori sottili delle pareti realizzarne l'armatura ed essendo complicato realizzare un piano di posa perfettamente orizzontale. Esistono in commercio anche delle soluzioni brevettate con casseri a perdere che consentono di risolvere alcune di queste problematiche ma non tutte.

### 3.5.1.1.2 Collegamenti tra pareti e solai

Nel nodo parete-solaio-parete la trasmissione delle azioni è garantita tramite sistemi di giunzione analoghi a quelli utilizzati in fondazione. Anche per tale nodo si usano in genere due differenti tipologie di sistema di ancoraggio per la trasmissione degli sforzi di taglio e di trazione.

Per trasmettere le forze di trazione tra pannello superiore al pannello inferiore si possono utilizzare coppie di hold-down a specchio chiodati alle pareti superiore e inferiore e collegati tra di loro tramite un bullone (Fig. 3.10 B) o, nel caso di pareti esterne piastre forate chiodate che collegano la parete superiore alla parete inferiore (Fig. 3.10 A). La trasmissione delle azioni di taglio tra parete superiore e solaio avviene in genere mediante angolari metallici o viti inclinate; la trasmissione delle azioni di taglio tra solaio e parete inferiore avviene tipicamente tramite viti. In alternativa, sempre per le pareti esterne, si può realizzare un collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore anche mediante piastre forate (Figura 3.10 A).

Talvolta, nell'intersezione tra partizione verticale e orizzontale, l'elemento continuo è rappresentato dalla parete: in tale caso il collegamento del solaio avviene in genere mediante angolari metallici avvitati alla parete (Figura 3.11 A), mentre il fissaggio di travi può essere realizzato ad esempio mediante staffe metalliche (Figura 3.11 B)

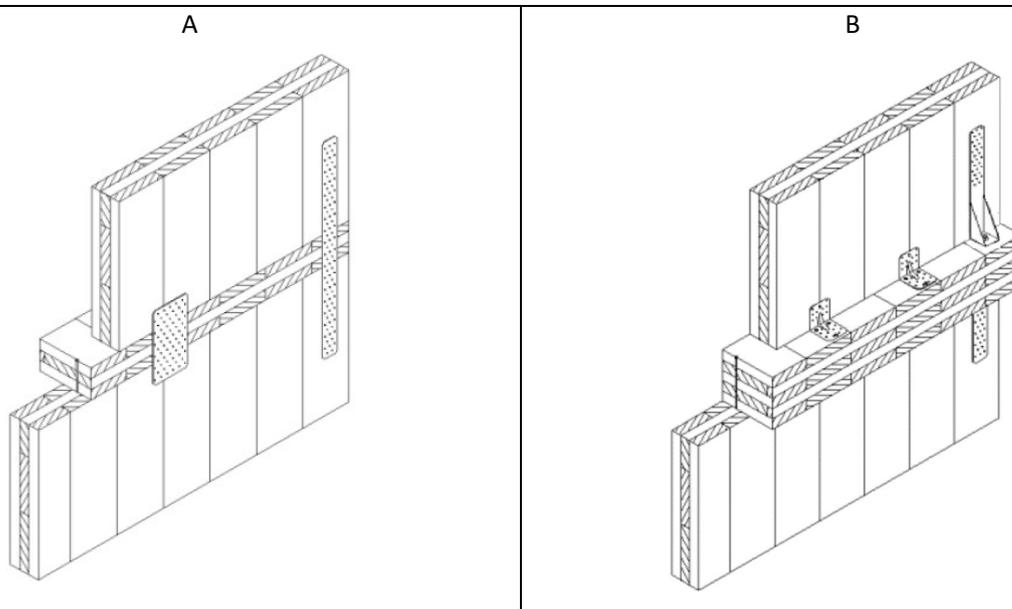


Fig. 3.10 – Soluzioni per il collegamento di interpiano. A collegamento per pareti esterne. B collegamento per pareti interne

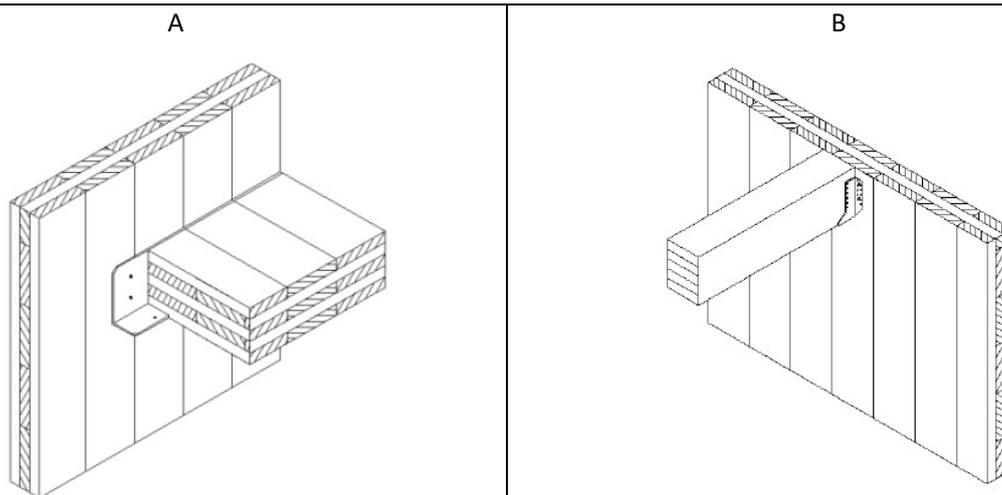


Fig. 3.11 – Soluzioni per il collegamento di interpiano con parete continua. A Appoggio del solaio di interpiano su parete continua: collegamento mediante angolare metallico avvitato alla parete. B Collegamento di una trave alla parete mediante scarpie metalliche

### 3.5.1.1.3 Collegamenti tra pareti e copertura

Negli edifici XLam la copertura può essere realizzata sia con pannelli XLam che, come più spesso accade, mediante travi di colmo e travetti. Nel primo caso il collegamento tra pannelli e pareti è in genere realizzato attraverso viti ed è possibile, come illustrato in Fig. 3.12 A interrompere il pannello XLam in corrispondenza della parete, realizzando lo sporto di gronda mediante dei “travetti passafuori”. Si tratta di una soluzione che consente di mantenere la forma tradizionale allo sporto di gronda senza interrompere l’isolante causando un ponte termico.

Nel caso di tetto “tradizionale” è possibile realizzare l’appoggio sulle pareti sagomando opportunamente i travetti di copertura (Fig. 3.12 B). Il manto è poi generalmente completato con uno strato di tavolato e un pannello superiore di irrigidimento di OSB o compensato.

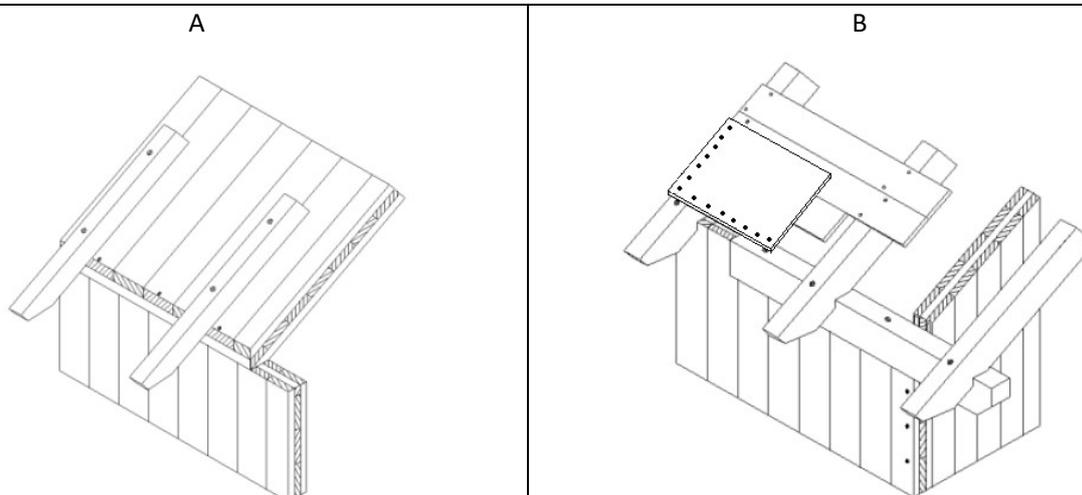


Fig. 3.12 – Soluzioni per il collegamento tra pareti e copertura. A Copertura in pannelli XLam con sporti di gronda realizzati mediante travetti passafuori B Copertura a travetti

### 3.5.1.1.4 Collegamenti verticali tra pannelli parete

Le dimensioni laterali dei pannelli XLam posti in opera possono essere limitate per diverse ragioni (produttive, di progetto, di trasporto ecc.), per cui, per realizzare pareti di una certa lunghezza risulta necessario accostare e collegare meccanicamente più pannelli disposti in verticale. Nella Fig. 3.13 sono illustrate alcune possibilità di collegamento tra elementi verticali: tali collegamenti devono essere dimensionati per resistere alle forze di taglio che si trasmettono da un pannello all'altro quando la parete è sollecitata dai carichi orizzontali. Il collegamento è realizzato in genere mediante viti o coprigiunti chiodati in tavole di compensato strutturale.

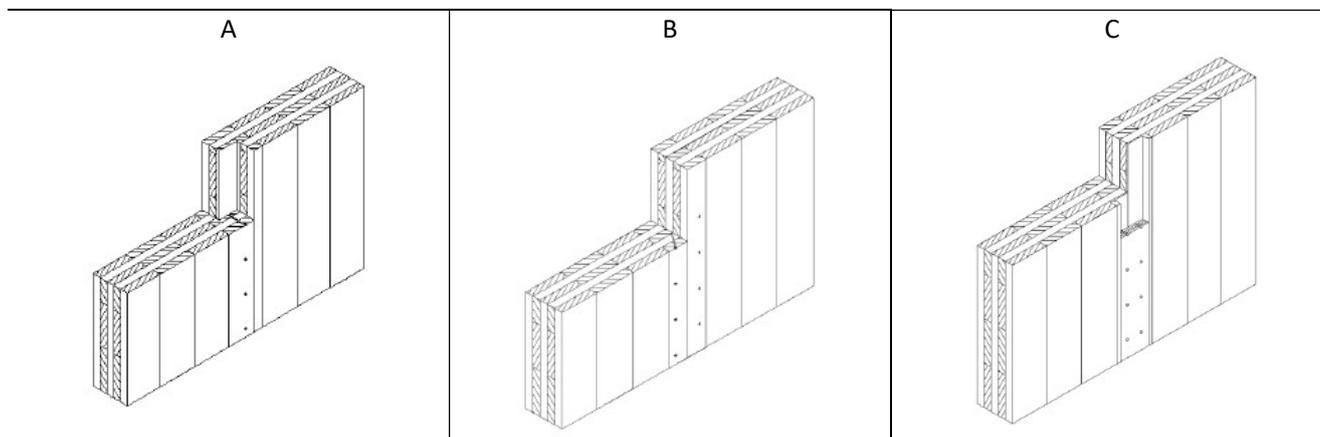


Fig. 3.13 – Soluzioni per il collegamento tra pannelli verticali. A Giunto a mezzo legno fra i pannelli con viti B Giunto di testa fra pannelli con viti inclinate, C Giunto verticale con striscia di compensato, LVL a strati incrociati o OSB inserita lateralmente e viti o chiodi

Nel caso di Fig. 3.13 C la tavoletta può essere posizionata su entrambi i lati della parete o inserita in una fresatura ricavata internamente alla parete, realizzando così un giunto a doppia sezione di taglio,

Il collegamento d'angolo tra pareti ortogonali è indispensabile per garantire un maggiore comportamento scatolare ed una maggiore robustezza all'intera costruzione. Tale vincolo costituisce inoltre un presidio ulteriore, rispetto al collegamento in sommità e alla base della parete, per le forze fuori piano delle pareti, dovute per esempio alla azione del vento in pressione o depressione sull'edificio. Tipicamente il collegamento è realizzato mediante viti incrociate, come illustrato in Figura 3.14.

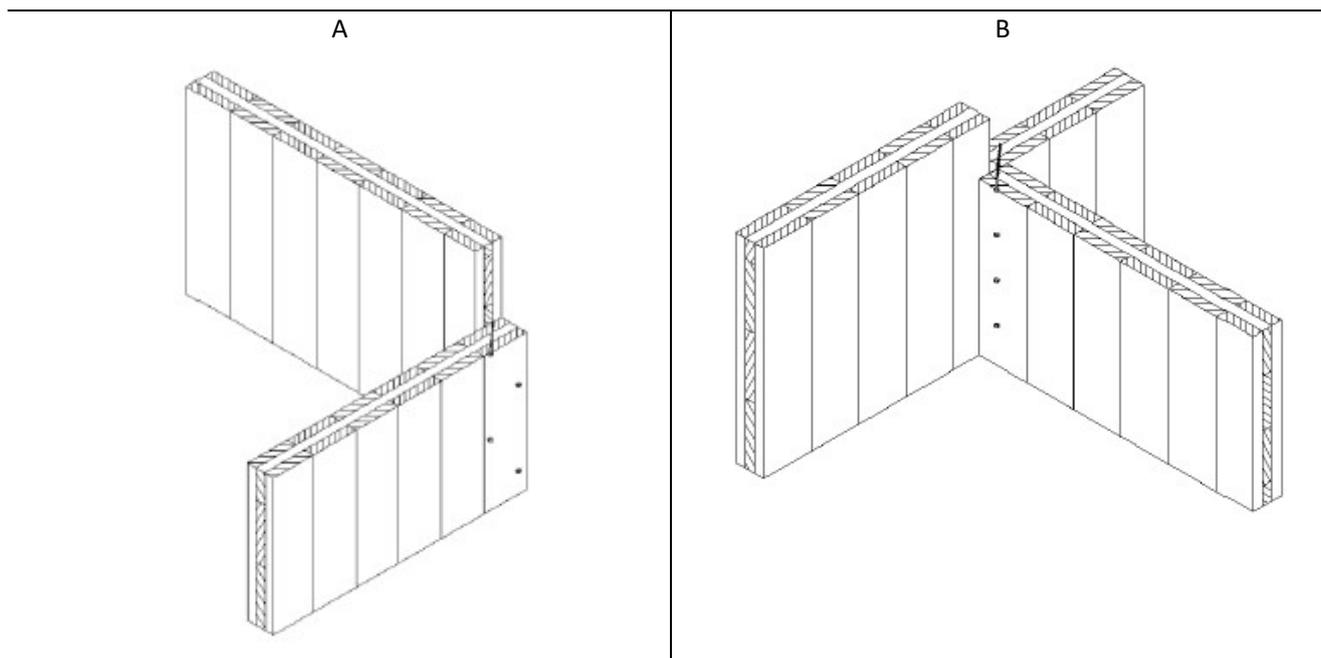


Fig. 3.14 – Collegamento d'angolo tra pareti con viti incrociate. A per pareti d'angolo. B giunto con pareti interne

### 3.5.1.1.5 Collegamenti orizzontali tra pannelli solaio

Nel caso di solai e coperture, realizzati con pannelli XLam, poiché questi presentano dimensioni trasversali ridotte per ragioni produttive e di trasporto, è necessario realizzare giunti trasversali tra pannello e pannello, permettendo così la realizzazione di un diaframma orizzontale continuo di maggiori dimensioni (comportamento nel piano) ed evitando abbassamenti differenziali (comportamento fuori piano). Si tratta tipicamente di collegamenti “a cerniera”, che non garantiscono quindi la trasmissione delle azioni flettenti e che vengono realizzati parallelamente alla direzione portante principale del solaio. Nella Fig. 3.15 sono illustrati alcuni possibili dettagli costruttivi realizzati mediante viti o coprigiunti chiodati (del tutto simili a quelli illustrati per il collegamento tra pannelli parete).

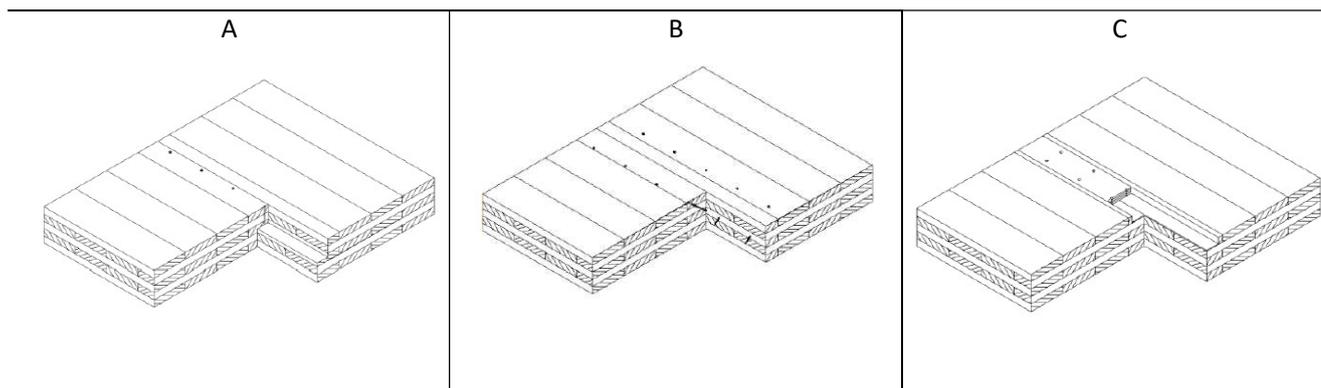


Fig. 3.15 – Soluzioni per il collegamento tra pannelli solaio orizzontali. A Giunto a mezzo legno fra i pannelli con viti B Giunto di testa fra pannelli con viti inclinate, C Giunto orizzontale con striscia di compensato, LVL a strati incrociati o OSB inserita superiormente e viti o chiodi

Il collegamento tra il solaio e le travi principali può avvenire generalmente in due modi: il solaio può appoggiare superiormente all'estradosso della trave (soluzione con trave fuori spessore del solaio) oppure può rimanere “nello spessore” della trave principale. In questo ultimo caso è molto impegnativo utilizzare elementi lignei, sia per aspetti costruttivi che di verifica strutturale: una possibile soluzione può essere quella di utilizzare laminati di acciaio (Fig. 3.16).

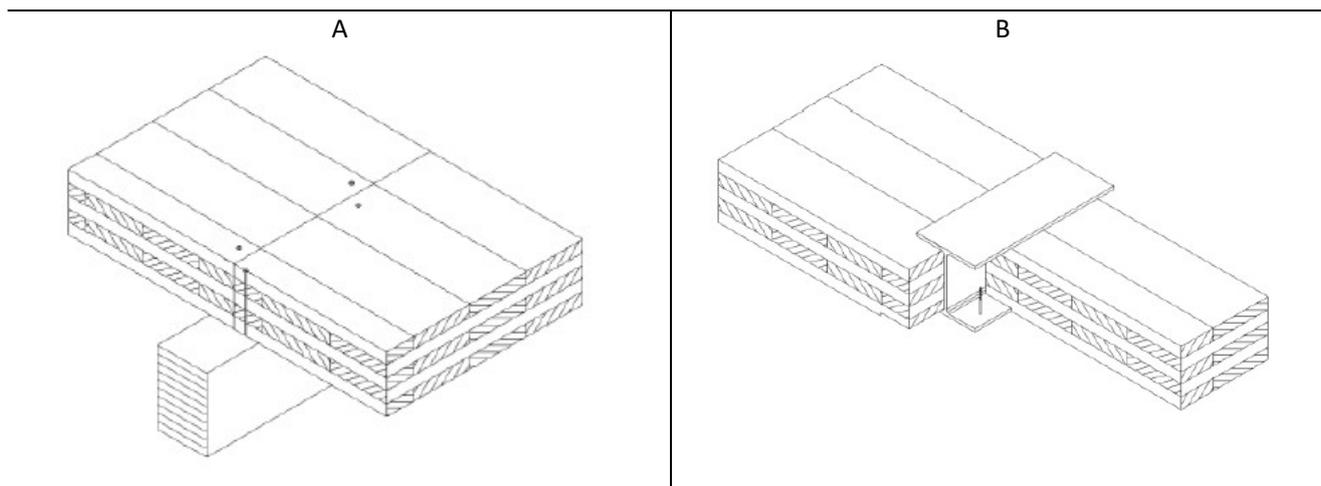


Fig. 3.16 – Collegamento d'angolo tra solaio e travi principali. A con trave ricalata in legno lamellare. B nello spessore del solaio con trave in acciaio

### 3.5.1.1.6 Collegamenti relativi a scale e balconi

Le scale possono essere realizzate in vari modi in funzione dello schema statico realizzabile e di esigenze architettoniche e distributive. Le due soluzioni maggiormente utilizzate sono illustrate in Fig. 3.17. In un caso la rampa è realizzata mediante un pannello XLam inclinato in appoggio su staffe metalliche collegate al pianerottolo e gradini sopra riportati; nel secondo caso i gradini sono collegati direttamente alle pareti perimetrali mediante angolari metallici avvitati (o in alternativa mediante dormienti in legno lamellare sagomati).

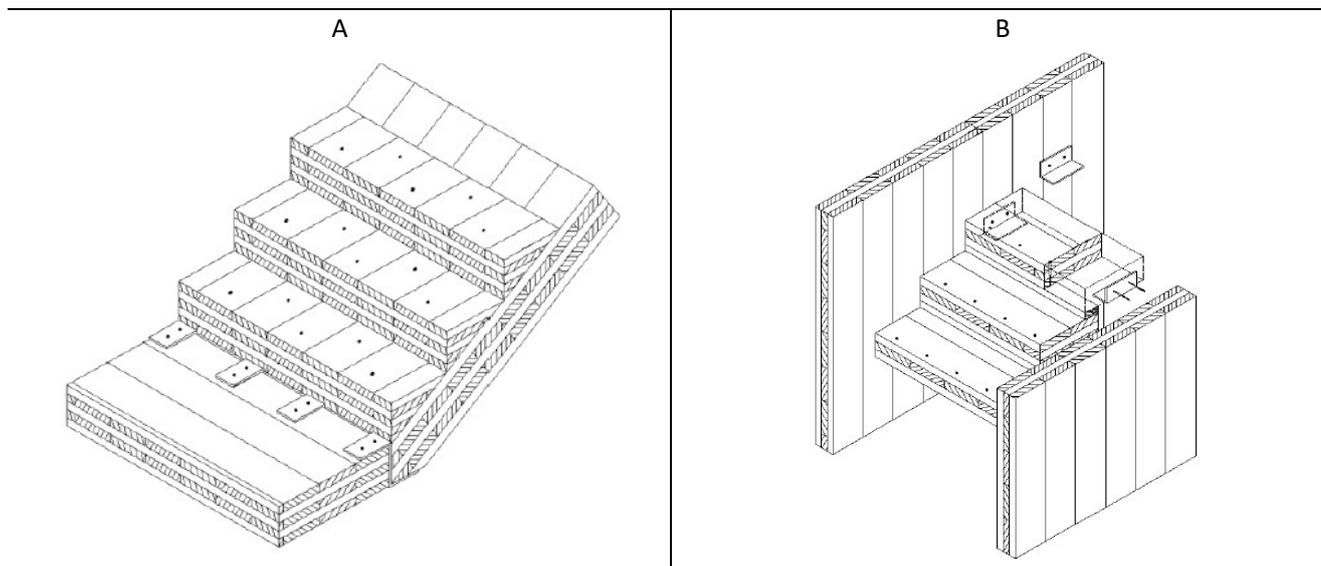


Fig. 3.17 – Possibili soluzioni per la realizzazione della scala. A con soletta realizzata mediante pannello XLam inclinato e gradini sopra riportati. B con gradini collegati con angolari metallici

Anche nel caso dei balconi si possono avere molteplici soluzioni costruttive. Nella Figura 3.18 lo sbalzo del balcone è realizzato prolungando gli elementi portanti del solaio: tale soluzione permette di realizzare balconi nella direzione di orditura del solaio (ad esempio travi in legno, pannelli XLam). Si osservi come in tale caso lo stesso elemento strutturale venga a trovarsi in classi di servizio (e in classi di rischio) differenti, a seconda che si trovi all'interno (solaio) o all'esterno (balcone) dell'involucro edilizio. Nella Fig. 3.18 sono presentate due diverse soluzioni costruttive per balconi di edifici con solaio XLam. Nel primo caso il balcone è realizzato mediante un pannello XLam in appoggio su staffe metalliche fissate alle pareti perimetrali e su pilastri esterni in legno o acciaio; nel secondo caso il balcone è realizzato da travetti a sbalzo, ancorati a taglio alle pareti mediante squadrette metalliche e ancorati a flessione al solaio mediante nastri forati chiodati.

Sembra il caso di ricordare che comunque tali pannelli devono essere protetti, in quanto generalmente prodotti per le classi di servizio 1 e 2.

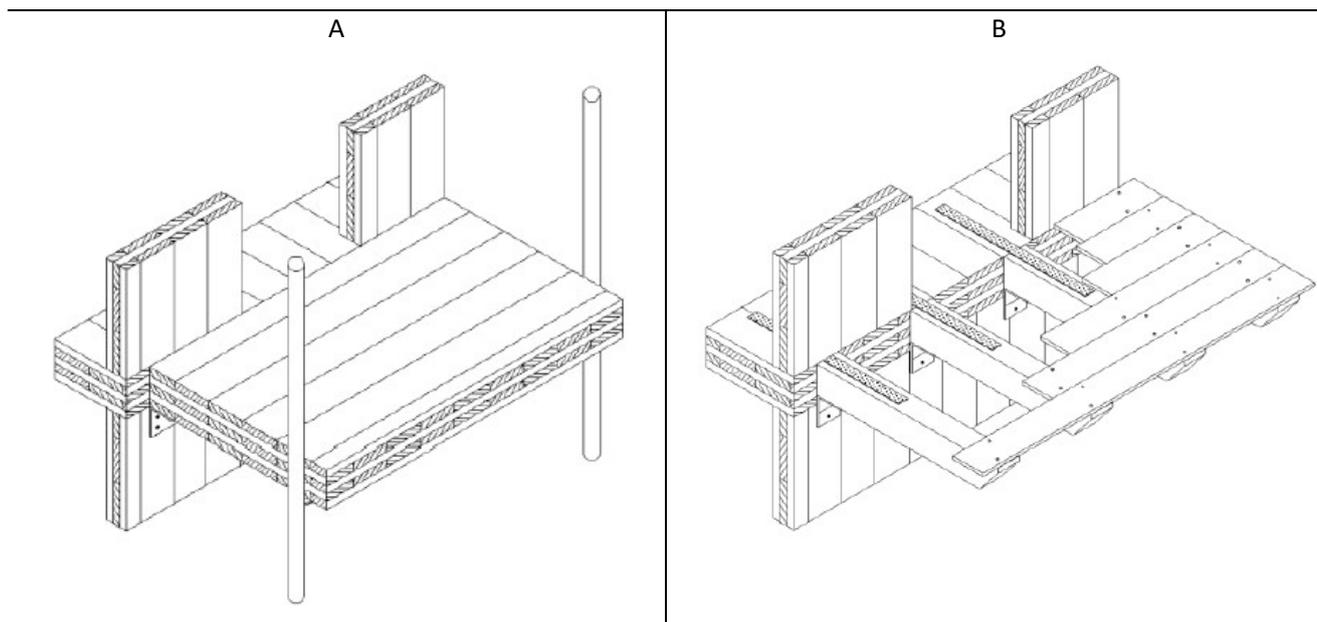


Fig. 3.18 – Possibili soluzioni per la realizzazione del balcone. A Balcone realizzato mediante un pannello XLam in appoggio su staffe metalliche fissate alle pareti perimetrali e su pilastri esterni. B Balcone realizzato mediante travetti a sbalzo, ancorati a taglio con squadrette metalliche e a flessione con nastri forati

In generale sono sempre preferibili soluzioni costruttive che consentano la completa separazione degli elementi strutturali esterni all'involucro edilizio. Questo garantisce più facilmente, in caso di eventuale degrado dovuto alla più elevata classe di rischio, la possibilità di completa sostituzione di tali elementi nel corso della vita della costruzione, senza effettuare alcun intervento sulla struttura interna dell'edificio.

### 3.5.1.2 Criteri di gerarchia delle resistenze

Per quanto concerne i criteri generali di progettazione gli edifici XLam (ma anche tutte le tipologie costruttive a pareti come il telaio leggero e il Log House trattate successivamente) devono essere progettati per raggiungere un comportamento scatolare in cui i diaframmi orizzontali sono connessi alle sottostanti pareti resistenti a taglio in maniera da vincolarle sia nel piano che fuori dal piano e trasferire ad esse le forze orizzontali date dal sisma a ciascun livello, fino alle fondazioni.

Dal punto di vista della gerarchia delle resistenze, nella proposta di revisione del capitolo dell'Eurocodice 8 relativo alla progettazione delle strutture di legno in zona sismica, attualmente in discussione in sede di comitato normativo CEN TC 250/SC8/WG3 anticipata in Follesa et al. 2018 e in altre pubblicazioni precedenti, viene proposta la seguente distinzione:

- In classe di duttilità Media (corrispondente alla DC "B" secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni) sono ammessi gli edifici in XLam sia a pareti monolitiche che segmentate.

Gli elementi considerati a comportamento fragile da progettare con sovrarresistenza sono:

- Il collegamento tra pannelli adiacenti a livello di solaio.
- I pannelli XLam e le strutture lignee del solaio.
- Il collegamento tra solaio e pareti sottostanti.
- Il collegamento tra pareti ortogonali
- I pannelli XLam delle pareti

Gli elementi a comportamento duttile da considerare come zone dissipative sono:

- I collegamenti di presidio al sollevamento delle pareti posti alle estremità (hold-down o tie-down).
- I collegamenti di presidio allo scorrimento distribuiti alla base delle pareti (generalmente angolari).

- In classe di duttilità Alta (corrispondente alla DC “A” secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni) sono ammessi solamente gli edifici in XLam a pareti segmentate.

Gli elementi da progettare con sovrarresistenza sono gli stessi già considerati per la classe di duttilità Media, mentre gli elementi a comportamento duttile da considerare come zona dissipativa sono gli stessi con l’aggiunta dei giunti meccanici verticali tra i pannelli delle pareti.

Da notare che secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni gli edifici in XLam possono essere progettati solamente in classe di Duttilità Media (DC “B”), pertanto non esiste distinzione tra edifici a pareti monolitiche e segmentale e i criteri di gerarchia delle resistenze descritti precedentemente possono essere reinterpretati nel seguente modo.

Gli elementi considerati a comportamento fragile da progettare con sovrarresistenza sono:

- Il collegamento tra pannelli adiacenti a livello di solaio.
- I pannelli XLam e le strutture lignee del solaio.
- Il collegamento tra solaio e pareti sottostanti.
- Il collegamento tra pareti ortogonali
- I pannelli XLam delle pareti

Gli elementi a comportamento duttile da considerare come zone dissipative sono:

- I collegamenti di presidio al sollevamento delle pareti posti alle estremità (hold-down o tie-down).
- I collegamenti di presidio allo scorrimento distribuiti alla base delle pareti (generalmente angolari).
- I giunti verticali tra pannelli parete realizzati con connessioni meccaniche nel caso di pareti segmentate.

Da notare che la gerarchia delle resistenze va applicata non solo a livello globale ma anche a livello locale. Ad esempio, a livello di singola connessione vanno ricercate le modalità di rottura duttili e quelle fragili, con queste ultime che dovranno essere sovrarresistenti rispetto alle prime. Nel progettare gli hold-down ad esempio la modalità di rottura duttile sarà quella caratterizzata dalla rottura del collegamento chiodato della piastra alla parete e quelle a comportamento fragile saranno la rottura della piastra in acciaio a trazione nella sezione più debole ovvero quella maggiormente forata, la rottura della flangia di base e la rottura del tassello di collegamento dell’hold-down alla fondazione in c.a.

### 3.5.2 EDIFICI A TELAIO LEGGERO

#### 3.5.2.1 Caratteristiche generali

Negli edifici a telaio leggero le pareti sono realizzate con un telaio di elementi di legno massiccio, lamellare o KVH formati da montanti equispaziati, un corrente superiore e uno inferiore, al quale viene collegato, su un lato o su entrambi i lati un pannello strutturale di controvento a base di legno (generalmente OSB o compensato, ma anche altri pannelli di fibra o particelle) o in gessofibra, collegato al telaio con tanti elementi di collegamento di piccolo diametro (generalmente chiodi o graffe). Come per gli edifici XLam le pareti a telaio leggero svolgono la funzione di portare i carichi verticali e trasmetterli linearmente alle fondazioni che di resistere alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete e il sistema, come per il sistema XLam, è un sistema a piattaforma (viene anche denominato Platform Frame internazionalmente) in cui le pareti hanno l’altezza di un piano e sono interrotte dai solai.

Gli orizzontamenti per solai e copertura sono generalmente composti, in maniera analoga alle pareti, da travi o travetti di legno lamellare equispaziati ed elementi di bloccaggio (o blocking) tra i travetti, con il rivestimento strutturale formato sempre da pannelli di compensato o OSB posto superiormente e collegato alle travi, travetti e elementi di bloccaggio mediante chiodi, viti o graffe, lungo il perimetro di ciascun pannello e sui supporti intermedi. A livello di diaframmi di solaio va generalmente prevista una trave perimetrale per assorbire le azioni di trazione e compressione derivate dall’azione diaframmatica quando l’orizzontamento viene caricato da azioni orizzontali nel suo piano. Si possono prevedere soluzioni alternative agli elementi di bloccaggio fra i travetti a patto che sia assicurato il trasferimento del taglio di piano lungo i bordi dei pannelli di rivestimento.

In alternativa possono essere utilizzate altre soluzioni, come pannelli XLam o solai misti legno-cls, a patto che siano adeguatamente collegati alle pareti inferiori e superiori per mezzo di elementi di collegamento metallici in modo da assicurare che le azioni sismiche orizzontali siano trasmesse dalle pareti sovrastanti al solaio e dallo stesso solaio alle pareti sottostanti.

Come per gli edifici XLam le connessioni di presidio al sollevamento sono generalmente realizzate mediante hold-down posizionati alle estremità delle pareti e in corrispondenza delle aperture. Le connessioni di presidio allo scorrimento sono invece realizzate con tirafondi di collegamento o viti quando la parete è realizzata interamente a piè d'opera o viene parzialmente prefabbricata portandola in cantiere aperta su un lato e vengono posizionate all'interno del telaio, centrate rispetto alla parete e distribuite lungo la lunghezza. Nel caso invece di pareti completamente prefabbricate, che arrivano in cantiere con i due pannelli di rivestimento sui due lati della parete già fissati con l'isolante già inserito internamente, il collegamento di presidio allo scorrimento avviene in maniera simile agli edifici XLam, ovvero con angolari o piastre metalliche distribuite poste ai lati della parete.

Il collegamento tra pareti ortogonali viene realizzato collegando tra loro i montanti verticali delle pareti generalmente mediante viti o chiodi.

Con riferimento all'edificio nel suo complesso e alla Fig. 3.8 si fa riferimento nel seguito agli stessi particolari costruttivi analizzati per le costruzioni in XLam.

### 3.5.2.1.1 Collegamenti tra pareti e fondazione

Valgono le stesse considerazioni svolte per gli edifici in XLam per quanto riguarda l'importanza del particolare costruttivo, sia nei riguardi della durabilità che della resistenza meccanica dei collegamenti. Anche in questo caso i collegamenti assolvono alle stesse funzioni viste per gli edifici XLam, ovvero presidio allo scorrimento e al sollevamento e le tipologie di collegamenti utilizzate sono simili. Fatte salve le considerazioni già svolte per gli edifici XLam in merito alla necessità di porre il piano di posa della parete ad una quota "di sicurezza" superiore rispetto al marciapiede esterno e se possibile al pavimento interno, si esclude in questa trattazione la possibilità di collegare la parete direttamente alla fondazione. In Fig. 3.19 sono illustrate due possibili soluzioni che possono essere adottate nel caso in cui la parete venga interamente assemblata a piè d'opera (Fig.3.19 A) e nel caso in cui la parete venga preassemblata in stabilimento e portata in cantiere chiusa (Fig. 3.19 B), entrambi con il cordolo in calcestruzzo. Naturalmente sono sempre possibili soluzioni analoghe con soglie in larice o cordoli prefabbricati in acciaio o alluminio, con le limitazioni già evidenziate nei dettagli corrispondenti del XLam.

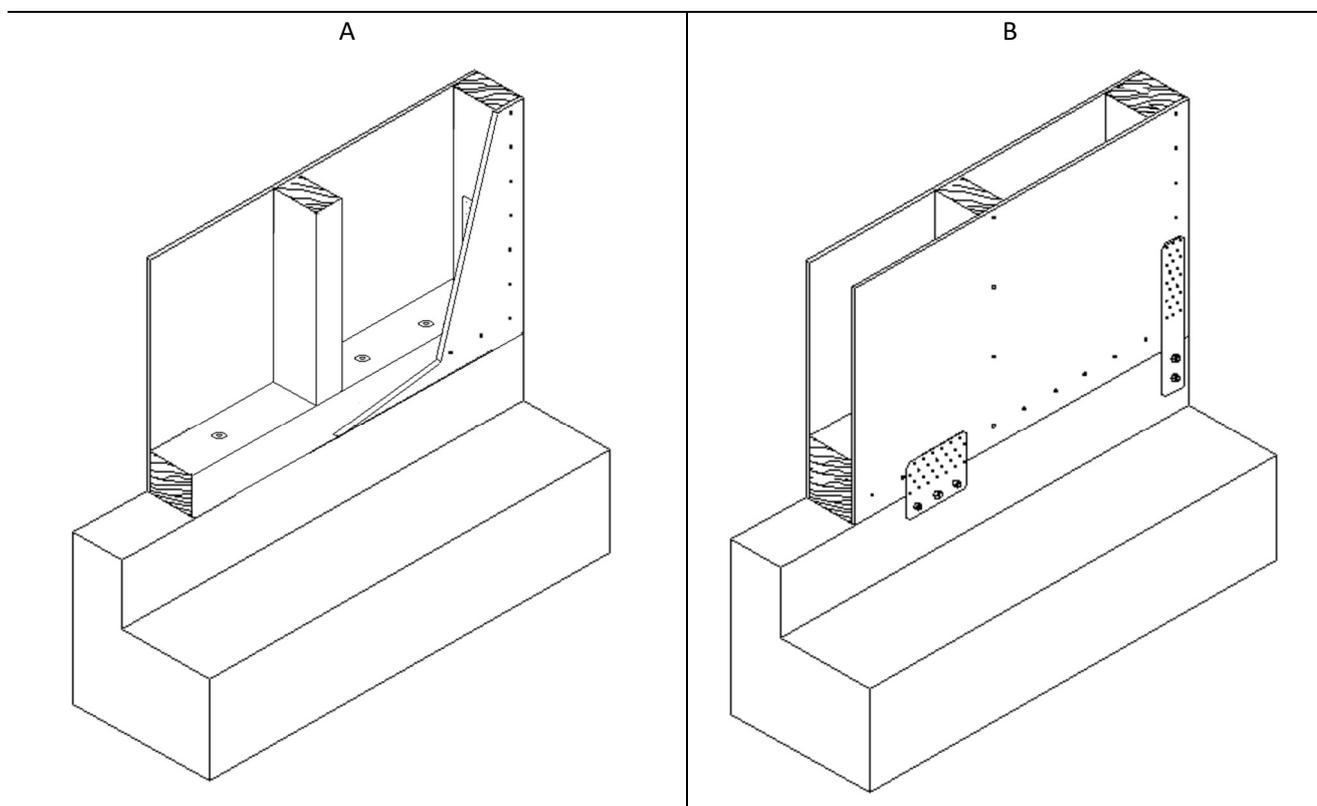


Fig. 3.19 – Soluzioni per il collegamento alle fondazioni. A collegamento con parete assemblata a piè d'opera o aperta. B collegamento con parete chiusa preassemblata in stabilimento

Nel primo caso tutti i collegamenti vengono solitamente effettuati dall'interno della parete realizzando un collegamento centrato rispetto alla parete, mediante hold-down tradizionali per la trazione e tirafondi in acciaio, collegati mediante ancoraggi chimici o meccanici, che collegano il corrente inferiore al cordolo di base in calcestruzzo. Nel secondo caso il collegamento è effettuato da uno dei due lati (solitamente l'interno) della parete mediante hold-down a piastra (per il collegamento dei quali andrà previsto un montante di sezione maggiorata) per la trazione e piastre a taglio (o in alternativa angolari in acciaio per cordoli di calcestruzzo di larghezze maggiori), in maniera del tutto analoga alle pareti XLam. In questo caso tuttavia il corrente inferiore della parete deve avere una sezione maggiorata rispetto agli altri elementi del telaio per consentire la chiodatura delle piastre a taglio.

### 3.5.2.1.2 Collegamenti tra pareti e solai

Anche per gli edifici a telaio leggero, nel collegamento di interpiano fra solaio e pareti la trasmissione delle azioni è garantita tramite sistemi di giunzione analoghi a quelli utilizzati in fondazione. Anche per tale nodo si usano in genere due differenti tipologie di sistema di ancoraggio per la trasmissione degli sforzi di taglio e di trazione.

Per trasmettere le forze di trazione tra pannello superiore al pannello inferiore si possono utilizzare analogamente a quanto visto per il XLam coppie di hold-down a specchio chiodati alle pareti superiore e inferiore e collegati tra di loro tramite un bullone (Fig. 3.20 A), mentre per le pareti esterne si utilizza tipicamente, come per il XLam, una piastra forata chiodata al montante della parete superiore e quello corrispondente della parete inferiore. La trasmissione delle azioni di taglio tra parete superiore e solaio avviene in genere mediante angolari metallici o viti inserite internamente alla parete che collegano il corrente inferiore della parete al solaio qualora la parete venga assemblata a piè d'opera o arrivi in cantiere preassemblata con uno dei due lati aperti; la trasmissione delle azioni di taglio tra solaio e parete inferiore avviene tipicamente tramite viti. In alternativa, per le pareti esterne, si può realizzare un collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore anche mediante piastre forate (Figura 3.20 B).

Valgono le stesse considerazioni fatte per il collegamento alle fondazioni sulla necessità di incrementare la sezione dei montanti ai quali viene collegato l'hold-down o del corrente inferiore della parete per collegare angolari o piastre.

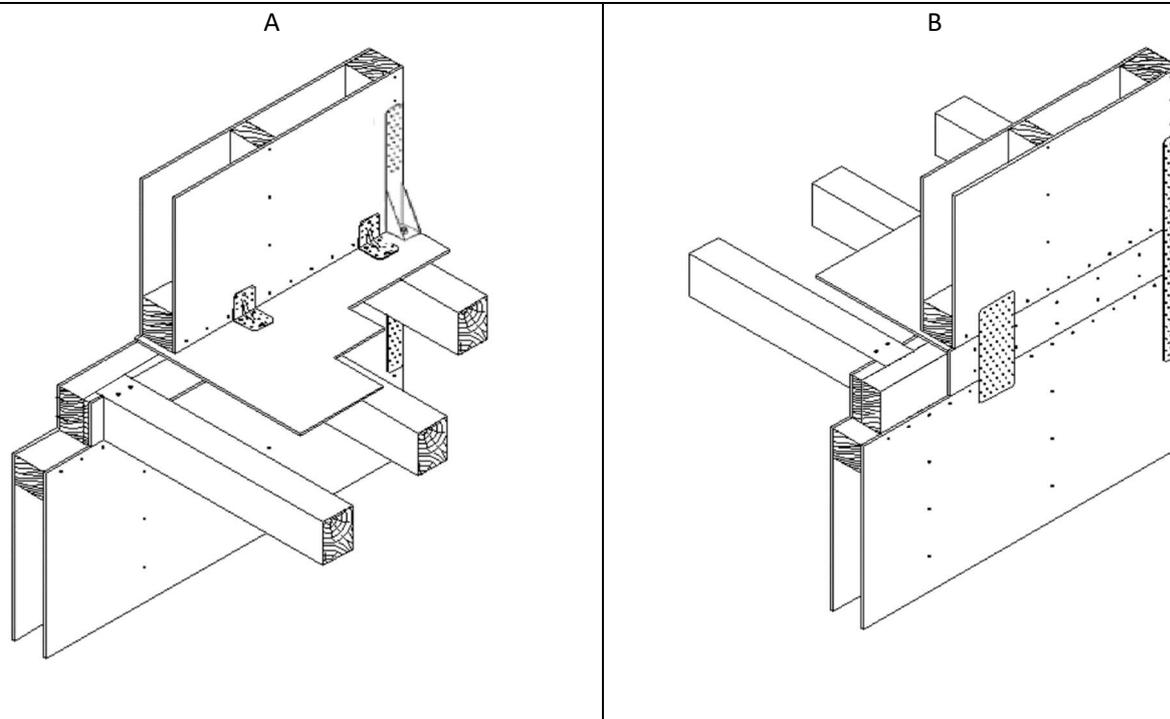


Fig. 3.20 – Soluzioni per il collegamento di interpiano. A collegamento per pareti esterne. B collegamento per pareti interne

### 3.5.2.1.3 Collegamenti tra pareti e copertura

Negli edifici intelaiati tipicamente si realizza una copertura tradizionale a travetti. Come illustrato in Figura 3.21 sono possibili due diverse soluzioni: travetti continui sull'appoggio della parete oppure interrotti in corrispondenza dell'appoggio per uscire in gronda con dei "passafuori". Quest'ultima soluzione viene adottata in genere poiché permette di limitare, in presenza di un elevato strato di coibentazione, lo spessore del pacchetto di copertura in gronda (dove l'isolante non è posato) ed evitare il ponte termico. Nel caso di tetto "tradizionale" è possibile realizzare l'appoggio sulle pareti sagomando opportunamente i travetti di copertura. Il manto è poi generalmente completato con uno strato di tavolato e un pannello superiore di irrigidimento di OSB o compensato.

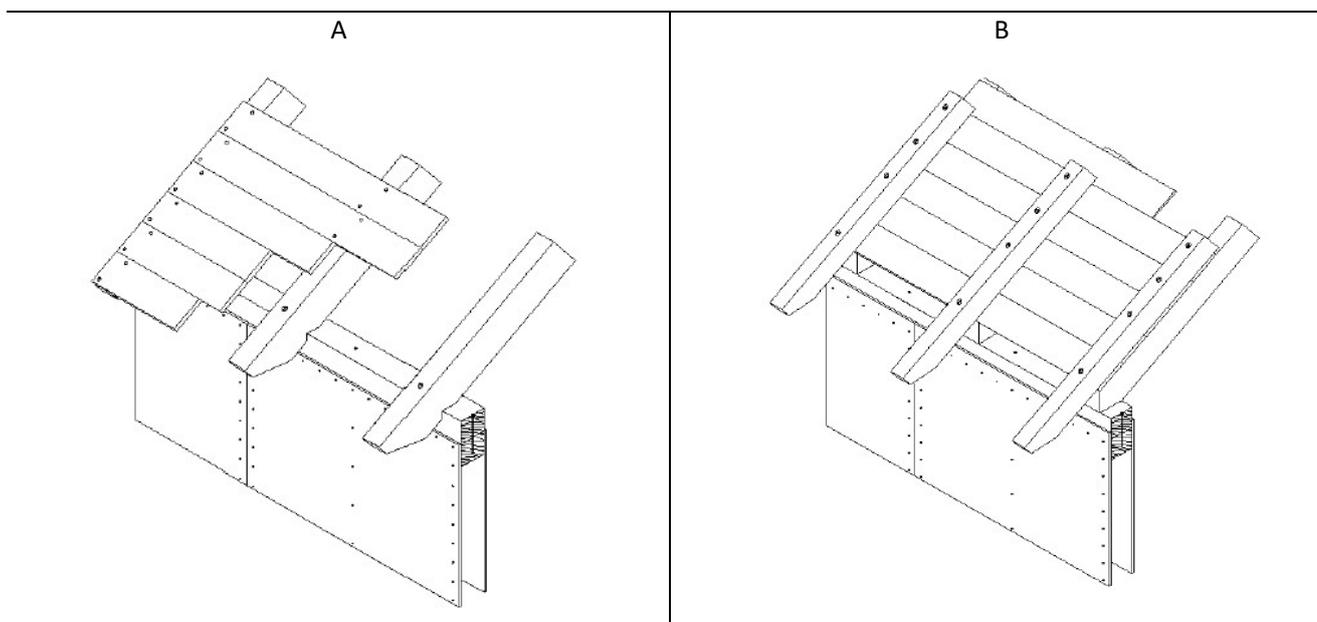


Fig. 3.21 – Soluzioni per il collegamento tra pareti e copertura per un edificio intelaiato. A Copertura con travetti continui in appoggio sulle pareti esterne B Copertura con passafuori in gronda

### 3.5.2.1.4 Collegamenti verticali tra pannelli parete

Per assicurare il controventamento delle pareti intelaiate risulta fondamentale il dimensionamento della chiodatura tra fogli di rivestimento (in genere OSB o compensato) e il telaio in legno. Dato che la dimensione laterale massima di tali fogli di rivestimento è tipicamente 125 cm, la trasmissione delle forze taglianti è assicurata tramite la giunzione dei fogli di rivestimento in corrispondenza di un montante, come illustrato in Figura 3.22 A. Il collegamento d'angolo tra pareti ortogonali è indispensabile per garantire un maggiore comportamento scatolare ed una maggiore robustezza all'intera costruzione. Tale vincolo costituisce inoltre un presidio ulteriore, rispetto al collegamento in sommità e alla base della parete, per le forze fuori piano delle pareti, dovute per esempio alla azione del vento in pressione o depressione sull'edificio. Tipicamente il collegamento è realizzato mediante viti, come illustrato in Figura 3.22 B e C.

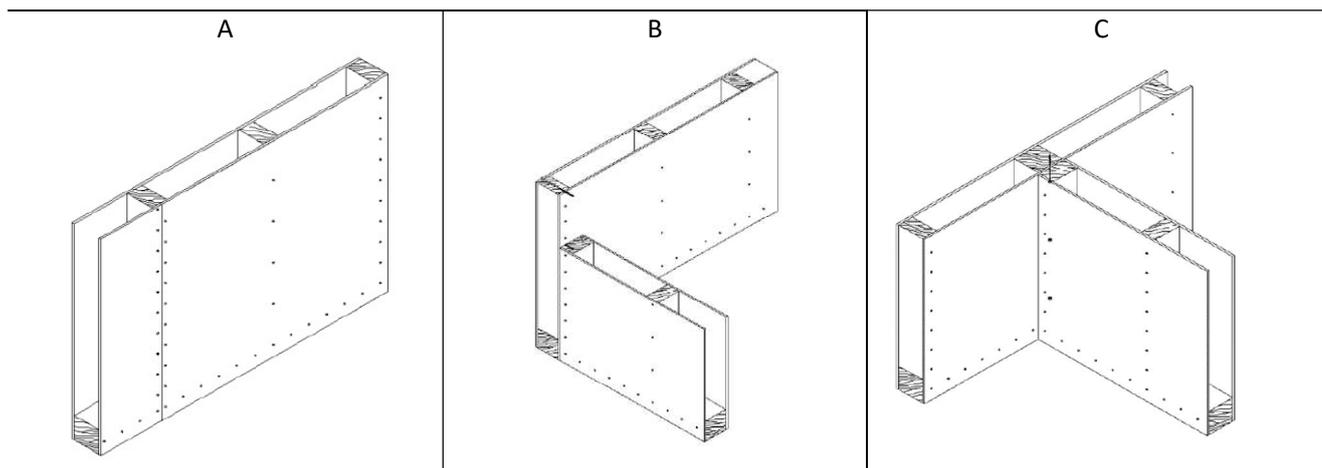


Fig. 3.22 – Soluzioni per il collegamento verticale tra pareti intelaiate. A Giunzione dei fogli di rivestimento di una parete intelaiata in corrispondenza di un montante B Collegamento d'angolo con viti, C Collegamento d'incrocio con viti incrociate. In alternativa in questo caso le viti possono essere inserite dritte dalla parete esterna.

### 3.5.2.1.5 Collegamenti orizzontali tra pannelli solaio

Nel caso di impalcati in edifici intelaiati il controventamento di piano è garantito dal rivestimento con fogli a base di legno, disposti sfalsati tra loro. Per garantire una efficace trasmissione degli sforzi di taglio le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono (punto 7.7.5.3) che tutti i bordi dei rivestimenti strutturali siano collegati agli elementi del telaio: i rivestimenti strutturali che non terminano su elementi del telaio devono essere sostenuti e collegati da appositi elementi di bloccaggio taglio-resistenti (Fig. 3.23).

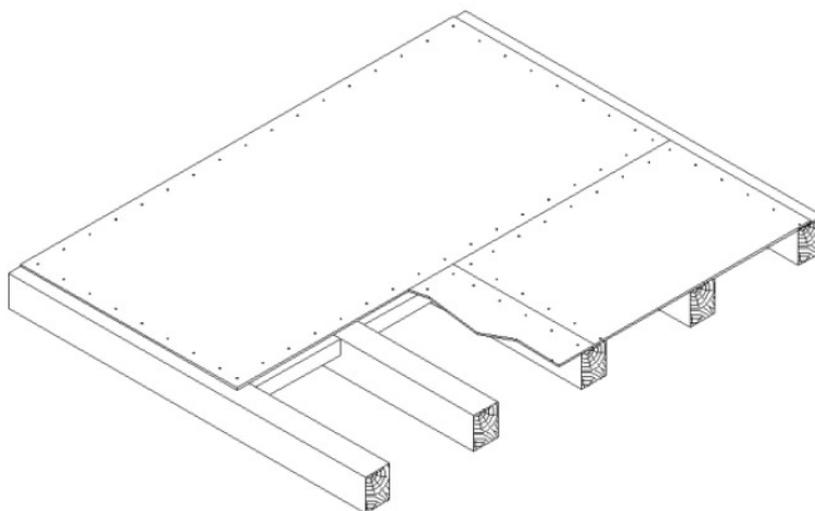


Fig. 3.23 – Controventamento di piano mediante fogli di rivestimento chiodati

### 3.5.2.1.6 Collegamenti relativi a scale e balconi

Come per gli edifici XLam, le scale possono essere realizzate in vari modi in funzione dello schema statico realizzabile e di esigenze architettoniche e distributive. La soluzione maggiormente utilizzata è quella di utilizzare dei dormienti sagomati in legno lamellare e gradini sopra riportati, in maniera simile a quanto illustrato in Fig. 3.17 B. I cosciali andranno naturalmente fissati in corrispondenza dei montanti delle pareti.

Anche nel caso dei balconi si possono avere molteplici soluzioni costruttive. Nella Figura 3.24 lo sbalzo del balcone è realizzato prolungando gli elementi portanti del solaio: tale soluzione permette di realizzare balconi nella direzione di orditura del solaio. Sono naturalmente possibili, e anzi preferibili dal punto di vista della durabilità della costruzione

soluzioni costruttive che prevedano la completa separazione degli elementi strutturali esterni dell'involucro edilizio, come illustrato in Fig. 3.18 per gli edifici XLam.

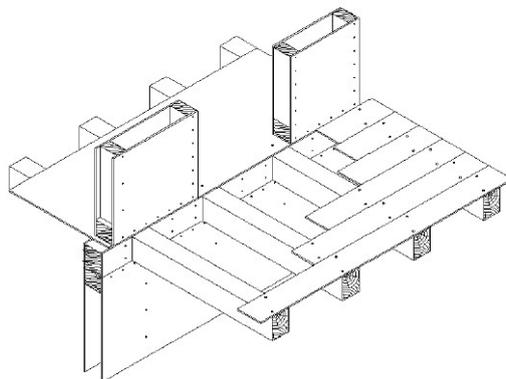


Fig. 3.24 – Balcone realizzato in continuità con le travi del solaio

### Criteria di gerarchia delle resistenze

Come già spiegato al §2.3.3 nelle Norme Tecniche per le Costruzioni, gli edifici a telaio leggero vengono classificati sia in classe di duttilità Alta che Media, effettuando una distinzione tra il caso di diaframma chiodato e diaframma incollato che tuttavia, come già spiegato nello stesso paragrafo, ammetterebbe implicitamente la possibilità di dissipare energie a livello di diaframmi orizzontali, possibilità che è già esclusa sia da altre indicazioni normative presenti nelle stesse Norme Tecniche che negli Eurocodici, sia dalla pratica progettuale secondo la quale questi edifici vengono progettati nella quasi totalità dei casi nell'ipotesi di diaframmi orizzontali rigidi.

Per quanto riguarda la gerarchia delle resistenze, nella sopramenzionata proposta di revisione dell'Eurocodice 8, viene proposta la seguente distinzione:

- In classe di duttilità Media (corrispondente alla DC "B" secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni) gli elementi considerati a comportamento fragile da progettare con sovrarresistenza sono:
  - Il collegamento tra pannelli di rivestimento strutturale e orditura del solaio realizzato con chiodi, viti o graffe in ciascun orizzontamento.
  - I pannelli di rivestimento strutturale di collegamento alle pareti verticali e ai solai.
  - Tutti gli elementi lignei dei telai delle pareti e dei diaframmi orizzontali.
  - Il collegamento tra pareti ortogonali in particolare agli angoli degli edifici.
  - Il collegamento tra solai e pareti sottostanti.

Gli elementi a comportamento duttile da considerare come zone dissipative sono:

- I collegamenti di presidio al sollevamento delle pareti posti alle estremità (hold-down o tie-down).
- I collegamenti di presidio allo scorrimento distribuiti alla base delle pareti (generalmente angolari).
- I collegamenti con chiodi, graffe o viti tra pannelli di rivestimento e telaio nelle pareti resistenti a taglio.
- In classe di duttilità Alta (corrispondente alla DC "A" secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni) gli elementi considerati a comportamento fragile da progettare con sovrarresistenza sono:
  - Il collegamento tra pannelli di rivestimento strutturale e orditura del solaio realizzato con chiodi, viti o graffe in ciascun orizzontamento.
  - I pannelli di rivestimento strutturale di collegamento alle pareti verticali e ai solai.
  - Tutti gli elementi lignei dei telai delle pareti e dei diaframmi orizzontali.
  - Il collegamento tra pareti ortogonali in particolare agli angoli degli edifici.

- Il collegamento tra solai e pareti sottostanti.
- I collegamenti di presidio al sollevamento delle pareti posti alle estremità (hold-down o tie-down).
- I collegamenti di presidio allo scorrimento distribuiti alla base delle pareti (generalmente angolari).

Gli elementi a comportamento duttile da considerare come zone dissipative sono:

- I collegamenti con chiodi, graffe o viti tra pannelli di rivestimento e telaio nelle pareti resistenti a taglio.

Il fatto, che può apparentemente sembrare strano, che gli edifici in classe di duttilità Alta abbiamo meno elementi dissipativi rispetto agli edifici classificati in Classe di duttilità Media, è dovuto al fatto che la connessione chiodata del pannello di rivestimento alla parete è dotata di un livello di duttilità molto maggiore rispetto a quello delle connessioni alla base della parete con hold-down e angolari, e pertanto, lavorando in parallelo come nel caso della classe di duttilità Media, viene abbassato il livello di duttilità dell'intero organismo strutturale.

### 3.5.3 EDIFICI LOG HOUSE O BLOCK HAUS

#### 3.5.3.1 Caratteristiche generali

Negli edifici Log House le pareti sono formate dalla sovrapposizione di elementi di legno massiccio o lamellare, generalmente a sezione rettangolare (più raramente a sezione circolare) e dotati di scanalature superiori e inferiori per facilitarne la sovrapposizione. Le pareti vengono sollecitate a compressione perpendicolare rispetto alla fibratura, direzione nella quale la resistenza è inferiore mediamente di circa dieci volte rispetto alla resistenza in direzione parallela. Inoltre sempre in direzione ortogonale alla fibratura occorre tenere in considerazione le deformazioni della parete dovute al ritiro e rigonfiamento che vanno opportunamente governate mediante dispositivi meccanici di compensazione. Per tutti questi motivi gli edifici realizzati con questa tipologia strutturale si limitano generalmente a uno o due piani.

La resistenza alle azioni orizzontali è data dalle connessioni tra pareti ortogonali che vengono realizzate mediante collegamenti di carpenteria ottenuti mediante lavorazioni con macchine a controllo numerico sui tronchi che compongono le pareti e che sono soggette a tensioni di compressione ortogonale alla fibratura e taglio longitudinale. In alternativa possono essere utilizzare elementi meccanici di collegamento come viti, spinotti o bulloni per collegare i tronchi delle pareti, ma in quest'ultimo caso tutta la resistenza va affidata al collegamento meccanico, ovvero non è consentito considerare una ripartizione della resistenza.

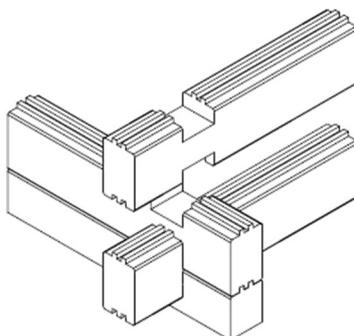


Fig. 3.25 – Tipica connessione di carpenteria di incrocio tra pareti ortogonali in un edificio Log House

Il sollevamento dei tronchi delle pareti dovuto all'azione del momento ribaltante deve essere contrastato o verificando che l'azione ribaltante dovuta all'azione sismica, moltiplicata per il coefficiente di sovraresistenza  $\gamma_{Rd}$  sia inferiore al momento stabilizzante dovuto ai carichi gravitazionali o mediante la progettazione, secondo gli stessi principi, di opportuni elementi di presidio, come ad esempio tiranti in acciaio posti internamente alle pareti e collegati alle fondazioni.

#### 3.5.3.1.1 Collegamenti tra pareti e fondazione

Anche per gli edifici Log House si possono ripetere le medesime considerazioni riportate in precedenza per gli edifici XLam e a pareti intelaiate in relazione all'importanza di questo collegamento, sia nei riguardi della durabilità che della resistenza

meccanica dei collegamenti. Anche in questo caso i collegamenti assolvono alle stesse funzioni di presidio allo scorrimento e al sollevamento e le tipologie di collegamenti. Anche in questo caso occorre porre la dovuta attenzione in merito alla quota di imposta della parete in relazione alle quote del marciapiede esterno e del pavimento finito interno e anche in questo caso le soluzioni maggiormente utilizzate sono il cordolo in calcestruzzo con guaina bituminosa di separazione o la soglia in larice o altra specie durabile. I collegamenti di presidio al sollevamento, quando necessari, vengono realizzati o tramite hold-down tradizionali, posti sempre alle estremità delle pareti o in corrispondenza delle aperture, ai quali però vanno accoppiate delle barre d'acciaio passanti (o altro sistema analogo in grado di trasferire la trazione a tutta la parete come viti a tutto filetto o nastri forati) che tengano insieme il pacchetto delle tavole che compongono la parete o mediante le stesse barre d'acciaio che possono essere collegate direttamente alle fondazioni (Fig. 3.26 A). Il collegamento a taglio delle pareti viene solitamente realizzato mediante delle barre tirafondo ancorate chimicamente o meccanicamente alle fondazioni distribuite lungo la parete (Fig. 3.26 B). In alternativa possono essere utilizzati anche degli angolari come in Fig. 3.26 C.

In alternativa agli hold-down, che hanno comunque a disposizione una superficie limitata tra le tavole per la chiodatura è possibile utilizzare le stesse barre tirafondo utilizzate come collegamento a taglio.

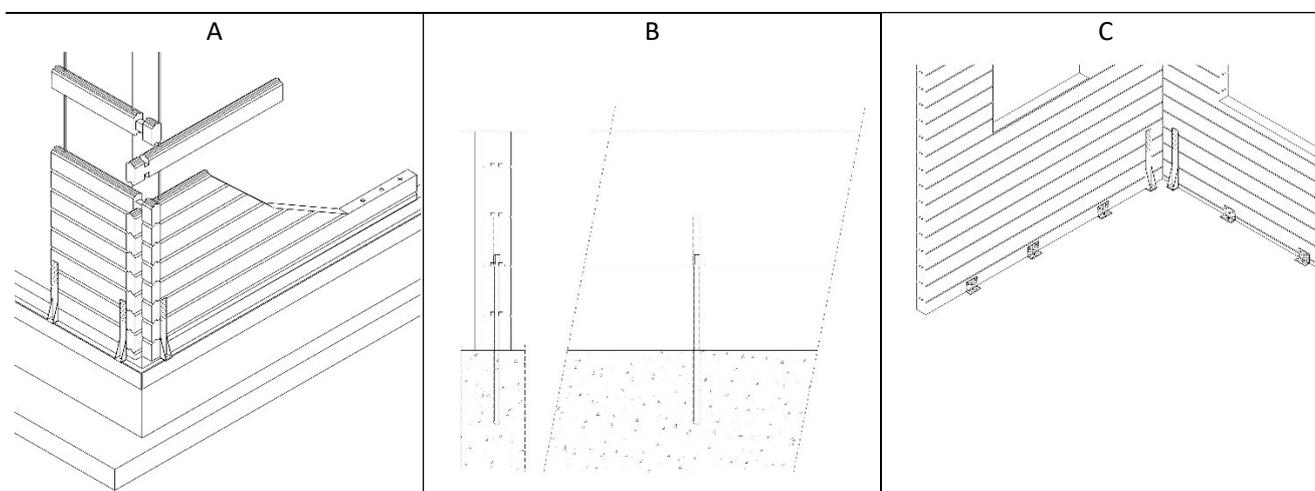


Fig. 3.26 – Soluzioni per il collegamento alle fondazioni. A dettaglio del collegamento alle fondazioni con hold-down (messi sul lato esterno per chiarezza ma solitamente posizionati sul lato interno) e barre d'acciaio e tirafondi per il collegamento a taglio. B particolare del collegamento a taglio con tirafondi in acciaio ancorati meccanicamente o chimicamente. C collegamento alle fondazioni con hold-down e angolari

### 3.5.3.1.2 Collegamenti tra pareti e copertura

Negli edifici Log House tipicamente si realizza una copertura tradizionale a travetti. Come illustrato in Figura 3.27 la soluzione solitamente utilizzata è quella di travetti continui sull'appoggio della parete in quanto in questa tipologia strutturale spesso il cappotto viene realizzato internamente per lasciare la parete a tronchi in vista all'esterno. Nel caso di tetto "tradizionale" è possibile realizzare l'appoggio sulle pareti sagomando opportunamente i travetti di copertura. Il manto è poi generalmente completato con uno strato di tavolato e un pannello superiore di irrigidimento di OSB o compensato.

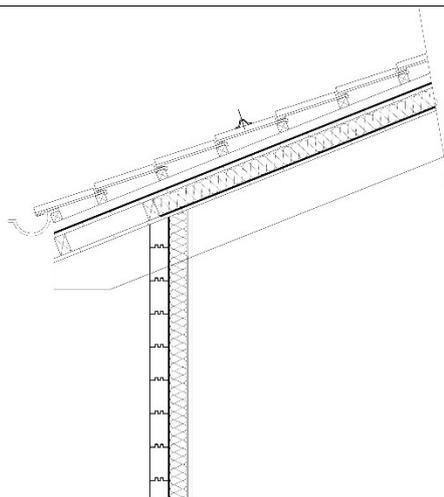


Fig. 3.27 – Soluzione per il collegamento tra pareti e copertura per un edificio Log House con pareti continue.

### 3.5.3.1.3 Collegamenti verticali tra pannelli parete

Il collegamento tra pareti ortogonali è tipicamente realizzato con le maschiature d'angolo realizzate mediante collegamenti di carpenteria ottenuti mediante lavorazioni con macchine a controllo numerico sui tronchi che compongono le pareti. Anche gli incroci tra pareti ortogonali interne avvengono alla stessa maniera e diventano un elemento che caratterizza fortemente l'aspetto architettonico di questi edifici come illustrato in Fig. 3.28.

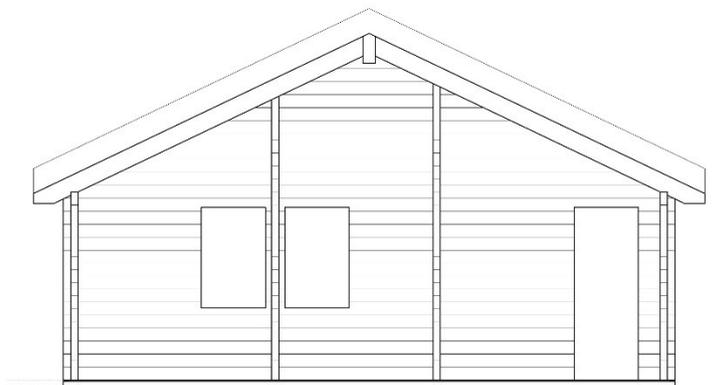


Fig. 3.28 – Prospetto di un edificio Log House con le pareti ortogonali che fuoriescono con le maschiature d'angolo.

### 3.5.3.2 Criteri di gerarchia delle resistenze

Per quanto concerne la progettazione nei confronti delle azioni sismiche il sistema è classificato, sia nella revisione dell'Eurocodice 8 che nelle Norme Tecniche per le Costruzioni in classe di duttilità Media.

Per quel che riguarda la dissipazione energetica, questa avviene per effetto di attrito e sollecitazioni di compressione ortogonale alla fibratura nelle connessioni di carpenteria tra pareti ortogonali, mentre tutti gli altri elementi, gli elementi

di legno delle pareti e i loro collegamenti alle fondazioni, i giunti di carpenteria e i diaframmi orizzontali devono essere progettati come elementi sovreresistenti.

### 3.5.4 EDIFICI A TELAIO RESISTENTE A MOMENTO

#### 3.5.4.1 Caratteristiche generali

Gli edifici a telaio resistenti a momento sono edifici realizzati con telai composti da elementi trave e pilastro generalmente di legno lamellare collegati tra loro mediante giunti semi-rigidi fatti con elementi di collegamento metallici a gambo cilindrico. Il collegamento dei pilastri alle fondazioni può essere incernierato o semi-rigido. I solai possono essere realizzati in XLam o a travi e pannelli come negli edifici a telaio leggero. A differenza delle tipologie strutturali a parete viste in precedenza, in questa tipologia strutturale i carichi verticali vengono scaricati puntualmente alle fondazioni in corrispondenza dei pilastri, mentre i carichi orizzontali sono contrastati dalla resistenza orizzontale dei telai resistenti a momento.

#### 3.5.4.2 Criteri di gerarchia delle resistenze

Per quanto riguarda la progettazione nei confronti delle azioni sismiche, il sistema è classificato sia in classe di duttilità Media che Alta.

In classe di duttilità Media gli elementi dissipativi sono gli elementi di collegamento d'acciaio a gambo cilindrico utilizzati nei giunti (viti, spinotti o bulloni) che devono essere caratterizzati da una modalità di rottura con la formazione di almeno una cerniera plastica in connessioni legno-legno e legno-acciaio. Tutti gli altri elementi, piastre d'acciaio ed elementi lignei del telaio devono essere progettati in sovreresistenza.

In classe di duttilità Alta possono essere utilizzate solo connessioni altamente dissipative (secondo la revisione dell'Eurocodice 8 con una duttilità rotazionale definita secondo la EN 12512 non inferiore a 10 ad un valore di riduzione di resistenza non superiore al 25%).

## 3.6 VERIFICHE DI SICUREZZA

Per quanto riguarda la progettazione in capacità definita all'interno delle Norme Tecniche, la resistenza di progetto degli elementi fragili  $F_{Rd,b}$  (o sovreresistenti) viene progettata per la sovreresistenza degli elementi duttili  $F_{Rd,d}$  secondo la seguente equazione:

$$\gamma_{Rd} \cdot F_{Rd,d} \leq F_{Rd,b} \quad (5)$$

dove i fattori di sovreresistenza sono definiti all'interno della Tabella 7.2.I delle NTC per le costruzioni in legno e per tutte le tipologie strutturali (si veda a proposito il §2.3.2). Da notare che nelle NTC 2018 al §7.2.2 è correttamente specificato che *“La domanda di resistenza valutata con i criteri della progettazione in capacità può essere assunta non superiore alla domanda di resistenza valutata per il caso di comportamento strutturale non dissipativo.*

Qualora il degrado di resistenza nelle zone dissipative sia tenuto in considerazione, i valori di progetto della resistenza per gli elementi duttili e fragili rispettivamente valgono, coerentemente a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le costruzioni:

$$F_{Rd,d} = \frac{F_{Rd,k} \cdot \beta_{sd} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (6)$$

$$F_{Rd,b} = \frac{F_{Rd,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (7)$$

dove  $k_{mod}$  è il coefficiente di modificazione delle resistenze per combinazione istantanea e  $\gamma_M$  il coefficiente parziale di sicurezza sul materiale e  $\beta_{sd}$  è un fattore che tiene in considerazione la riduzione di resistenza degli elementi duttili dovuta al degrado per carichi ciclici, per il quale viene proposto al paragrafo 7.7.6 delle Norme Tecniche per le Costruzioni un valore di 0.8. Per il calcolo della resistenza di progetto dei collegamenti duttili e fragili, nel caso di progetto in assunzione di comportamento strutturale dissipativo e considerando il degrado di resistenza, viene assunto il valore del coefficiente di sicurezza sui materiali proposto per situazioni eccezionali, in applicazione a quanto specificato al §7.3.6.1.

In questo caso, anche se non esplicitamente espresso all'interno del testo delle Norme Tecniche, nell'applicazione della progettazione in capacità a vantaggio della sicurezza il coefficiente di sovreresistenza viene nuovamente diviso per il valore di degrado di resistenza considerato, secondo la seguente equazione:

$$\frac{\gamma_{R,d}}{\beta_{sd}} \cdot F_{Rd,d} \leq F_{Rd,b} \quad (8)$$

Qualora invece il degrado di resistenza nelle zone dissipative non sia tenuto in considerazione, i valori di progetto della resistenza per gli elementi duttili e fragili rispettivamente valgono, coerentemente a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le costruzioni:

$$F_{Rd,d} = \frac{F_{Rd,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (9)$$

$$F_{Rd,b} = \frac{F_{Rd,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (10)$$

dove  $k_{mod}$  è il coefficiente di modificazione delle resistenze per combinazione istantanea e  $\gamma_M$  il coefficiente parziale di sicurezza sul materiale per le combinazioni fo

## 4 CONCEZIONE TECNOLOGICA DELL'OPERA IN LEGNO

### 4.1 GENERALITÀ

Un aspetto fondamentale da risolvere e che riguarda il normale esercizio della struttura è rappresentato dagli aspetti tecnologici dell'opera (in altre parole legati all'utilizzo di un materiale di origine biologica). Di seguito si richiama l'attenzione su alcuni punti essenziali che riguardano la concezione della struttura allo scopo di fornire indicazioni di carattere generale e garantire la sicurezza delle opere come definito dalla normativa corrente e secondo quelle che sono le aspettative della committenza.

La progettazione di strutture in legno è un processo multidisciplinare, per la naturale tendenza del legno al degrado biologico se esposto a determinati condizioni di umidità. Ai fini dello sfruttamento del legno per la produzione di oggetti e opere durature nel tempo, il degrado biologico deve essere quindi impedito o comunque ritardato almeno per la durata di vita richiesta al prodotto in questione. Questa problematica investe anche gli edifici in legno, soprattutto se consideriamo gli aspetti connessi alla loro concezione, talvolta erroneamente derivati da quelli relativi ad altri materiali strutturali.

Il termine "Azione", per il progettista, è generalmente collegato al concetto di forza o carico applicato, o a deformazioni impresse o causate da altri fattori anche eccezionali. Tuttavia è invalso l'utilizzo del termine in senso lato, per indicare tutti quei fenomeni con effetti diretti sulla costruzione (si pensi all'azione del fuoco in uno scenario di incendio). In analogia con le definizioni usate per i fenomeni meccanici, dove "azione" indica il carico agente sulla struttura, "effetto" indica la sollecitazione meccanica dell'elemento strutturale e il termine "rischio" è associato al cedimento strutturale dell'elemento, si potrà parlare - con riferimento ai problemi legati alla durabilità e alla protezione del legno - di "azione" per le cause che determinano l'apporto di acqua o di vapore acqueo all'elemento di legno, di "effetto" per descrivere l'aumento di umidità del legno e di "rischio" in relazione alle possibilità di degrado biologico del materiale.

Per quanto riguarda le "azioni" legate direttamente all'acqua, il progetto deve evitare il ristagno dell'acqua a contatto del legno e comunque permettere sempre e in qualsiasi punto una buona ventilazione in modo da mantenere condizioni di umidità del legno sotto il 20%, limite oltre il quale inizia a manifestarsi l'attacco fungino. Un'azione più o meno intensa può derivare da un diverso grado di esposizione dell'elemento. Si nota come l'azione delle intemperie possa avvenire in maniera indiretta, come capita quando l'acqua piovana è trasportata fino sulla superficie del legno dal vento.

La capacità del legno di assorbire acqua per fenomeni di capillarità viene favorita nel caso di contatto diretto con altri materiali igroscopici o comunque contenenti acqua, come nel caso di elementi poggianti direttamente sulle fondazioni in cemento armato, oppure nell'eventualità di contatto diretto con il terreno e la vegetazione, con un rischio particolarmente importante per il legno a causa dei microrganismi presenti.



Fig. 4.1- Strategie di progetto per aumentare la durabilità della costruzione

Le azioni legate ai fenomeni di condensazione possono presentarsi in diversi casi:

- all'interno di elementi dei pacchetti costruttivi, quando gli strati che li compongono non rispettano alcuni parametri tecnici per una efficace diffusione del vapore;
- sulla superficie di elementi costruttivi in caso di condizioni climatiche particolarmente severe, che favoriscono la condensazione del vapore contenuto nell'aria; un differente aspetto del fenomeno si manifesta in caso di temperature molto basse, con la formazione di uno strato di ghiaccio superficiale, che si trasforma in quantità di acqua spesso importanti non appena la temperatura sale al di sopra di 0 °C;
- all'interno di locali non ventilati, in caso di apporto notevole di umidità, anche in ambiente domestico.

Anche l'accumulo di neve in prossimità degli elementi della struttura induce molteplici effetti. L'ammasso di neve, infatti, impedisce la ventilazione delle superfici di legno da essa coperte. La neve si trasforma in acqua, non appena la temperatura risale, cosicché la neve accumulatasi può portare a infiltrazioni di acqua in parti della costruzione che, altrimenti, potrebbero essere considerate come sufficientemente protette.

Per quanto riguarda le "Azioni" legate a sostanze diverse dall'acqua, anche se il legno è generalmente poco sensibile ad un buon numero di sostanze chimiche che invece per altri materiali possono rappresentare un rischio importante, non si deve sottovalutare l'effetto di queste condizioni di esposizione sulle connessioni e sui connettori metallici. La presenza di acqua nel legno in quantità sufficiente favorisce quindi la corrosione dei metalli e ciò, a sua volta, favorisce il degrado del legno. Anche in questo caso, i fenomeni possono essere facilmente evitati quando si impedisce l'instaurarsi di condizioni di umidità elevata nel legno e disponendo di elementi metallici protetti, come descritto nel successivo paragrafo.

In perfetta analogia con le verifiche strutturali, si possono individuare le due componenti della relazione della verifica della durabilità, "Azione" e "Resistenza al degrado", e controllare che le conseguenze della prima non superino la seconda (si veda fig. 4.1). Si può intervenire su entrambe le componenti, cioè riducendo le azioni e/o aumentando la resistenza agli attacchi biologici in genere e, in particolare, a quelli fungini.

La riduzione delle azioni avviene tramite provvedimenti costruttivi, quali una adeguata concezione della costruzione, o con l'aggiunta di appositi elementi aventi esclusiva funzione di protezione del legno. L'aumento della resistenza al degrado può avvenire tramite la scelta e l'utilizzazione di specie legnose più resistenti, sfruttandone quindi la resistenza naturale, o tramite il trattamento del legno, di superficie o per impregnazione. Tuttavia questi ultimi provvedimenti, pur favorendo la durabilità, necessitano di adeguata manutenzione e quindi non possono sostituire in toto i cosiddetti provvedimenti costruttivi, molto più efficienti e duraturi.

Con particolare riferimento alla concezione strutturale, si riportano solo due immagini particolarmente significative atte a esemplificare situazioni corrette o da evitare per gli edifici in legno (Figure 4.2 e 4.3).

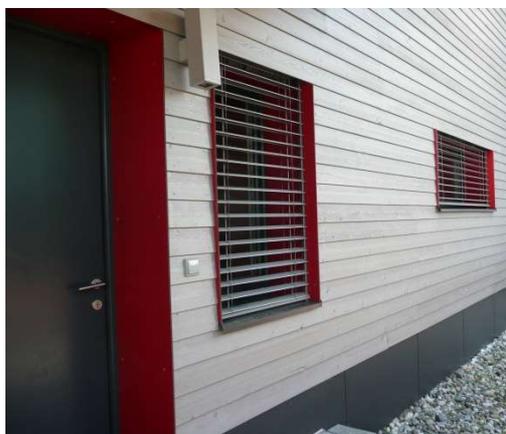


Figura 4.2. Edificio realizzato in legno con elementi protetti alla base e rialzati da terra

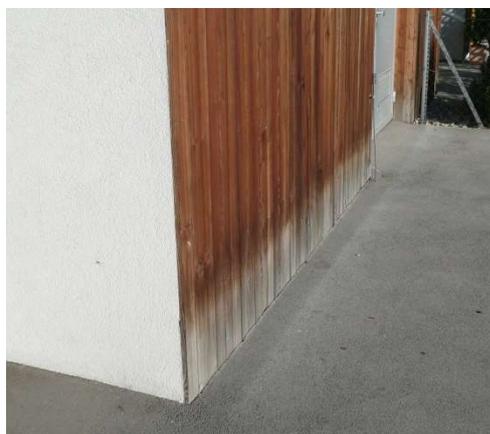


Figura 4.3. Edificio realizzato in legno con elementi esposti (non protetti) al degrado nella zona di attacco a terra

## 4.2 CARICO DI UMIDITÀ: “MOISTURE DESIGN”

Il legno ha caratteristiche uniche nel panorama edile: leggerezza, opportunità di prefabbricazione spinta degli elementi opachi, tempi di costruzione veloci, stoccaggio di CO<sub>2</sub> e tendenza alle classi energetiche più alte, fanno delle opere di ingegneria in legno un punto di sicuro riferimento per il settore industriale delle costruzioni.

Una corretta concezione architettonica dell'edificio – come della copertura – realizzato attraverso l'utilizzo di tecnologie in legno sicuramente può essere un elemento di partenza fondamentale per garantire costi di manutenzione in linea con la vita nominale prevista in sede di progetto e che non disattenda le aspettative di una committenza sempre più attenta ai temi di sicurezza abitativa e confort.

E' da sottolineare comunque che – a prescindere dal materiale con cui una determinata opera venga a realizzarsi – questa necessità di manutenzione e contestualmente è altresì necessario andare a considerare gli aspetti di interazione del materiale strutturale con l'acqua (sia questa in forma liquida o in presente sottoforma di vapor d'acqua). Infatti:

- Per edifici in acciaio è importante considerare le correlazioni con l'ambiente circostante al fine di evitare fenomeni di corrosione generalizzati o concentrati in determinati nodi costruttivi;
- Per opere in calcestruzzo allo stesso tempo è necessario considerare che infiltrazioni dovute alla formazione di fessure possono portare alla perdita delle caratteristiche meccaniche dell'opera stessa.

Il tema quindi della “progettazione dell'edificio nei confronti dell'umidità” è una caratteristica che deve essere presa in considerazione da tutte le tipologie costruttive. Le opere in legno - quindi - non differiscono da tale aspetto e considerando le caratteristiche di igroscopicità del materiale e la naturale tendenza dello stesso a assorbire umidità più velocemente che a cederla, è necessario che lo strutturista incaricato abbia un bagaglio minimo di conoscenze tecnologiche per una corretta risoluzione dei nodi costruttivi caratterizzanti l'edificio o la struttura in genere.

E' quindi importante poter prevedere sia in cantiere che durante l'esercizio dell'opera, il comportamento del materiale nei confronti dell'umidità. Diviene quindi importante riuscire a rispondere – ai fini di una valutazione del comportamento stesso dell'opera e relativo contenuto di umidità degli elementi strutturali – almeno alle seguenti domande:

- Da dove può provenire l'acqua?
- Come viene trasportata l'acqua all'interno dell'edificio?
- Come può essere controllato il “carico di umidità”?
- Come può essere rimosso il “carico di umidità”?

### 4.2.1 UMIDITÀ, CLASSI DI SERVIZIO E CLASSI DI UTILIZZO

All'interno della progettazione di un'opera in legno è di fondamentale importanza definire il contesto termo igrometrico a cui gli elementi, porzioni degli stessi o l'opera nella sua interezza, saranno soggetti.

Infatti l'umidità del materiale è direttamente correlata al rischio di attacco biotico da parte di agenti fungini: questo si verifica qualora l'umidità del legno è sopra al 20% e porta alla demolizione della tessuto legnoso con successivo decadimento delle proprietà meccaniche del legno.

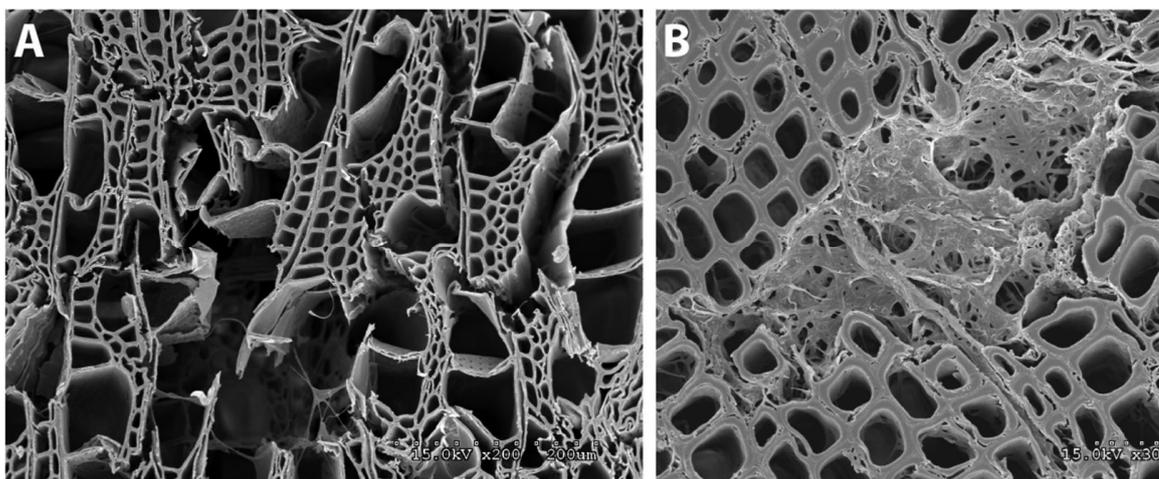


Fig. 4.4 – a) tessuto legnoso attaccato da funghi della carie (basidiomiceti); b) tessuto legnoso non soggetto ad attacchi (in questo caso le pareti cellulari non hanno subito azioni di degrado).

Di seguito in considerazione delle classi di servizio, così come altresì definito nelle pertinenti classi di utilizzo (UNI EN 335), sono riportate considerazioni utili al fine di considerare un'interazione tra scelte progettuali e successivi requisiti di manutenzione dell'opera.

Per quanto attiene le classi di servizio è possibile riportare la seguente schematizzazione in accordo a quanto indicato nella UNI EN 1995-1-1 e le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17.01.18).

L'attribuzione ad una classe di servizio ha riflessi in ambito progettuale andando a definire sia i coefficienti correttivi da applicare in sede dimensionamento dell'opera che in relazione ai particolari esecutivi dedicati alla cantieristica dell'opera stessa:

- In ambienti interni riscaldati (con RH generalmente inferiore 65%; T 20°C), le strutture in legno possono essere assegnate alla **classe di servizio 1**, in questo caso l'umidità media degli elementi in legno allo stato di equilibrio è indicativamente non superiore al 12%;
- In ambienti protetti ma non riscaldati (con maggiore RH 85% solo per poche settimane all'anno; T 20°C), le strutture in legno possono essere assegnate alla **classe di servizio 2**, in questo caso l'umidità del legno può superare il 20% solo in determinati e brevi periodi dell'anno;
- In ambienti non protetti in generale, le strutture in legno devono essere assegnate alla **classe di servizio 3**. L'umidità degli elementi in legno – per la maggior parte del periodo dell'anno – sarà maggiore del 20%.

Allo stesso modo le classi di utilizzo espresse dalla UNI EN 335 riportano suddivisione riportata di seguito. E' da sottolineare che tale schematizzazione ha riflessi in relazione principalmente alle misure di protezione, nonché in merito alle caratteristiche di durabilità dell'opera e del materiale al fine di un suo corretto utilizzo.

- **Classe d'utilizzo 0:** tale classe include tutte quelle realizzazioni (o porzioni di esse) dove l'umidità del legno è costantemente inferiore al 20% per tutta la durata d'esercizio. Nella classe d'uso 0 non vi sono le condizioni per un attacco biotico da parte di funghi;
- **Classe d'utilizzo 1:** entro tale classe si includono quelle realizzazioni (o porzioni di esse) dove l'umidità del legno è inferiore al 20% per la durata d'esercizio per l'opera. Solo saltuariamente può essere prevista un RH superiore dell'85% (per brevi periodi dell'anno); in considerazione delle presenti condizioni di contorno sono possibili infestazioni prevalentemente da insetti.

- **Classe d'utilizzo 2:** tale classe include quelle realizzazioni (o porzioni di esse) entro le quali l'umidità del legno è occasionalmente sopra il 20%; allo stesso tempo l'umidità relativa dell'ambiente di posa può superare l'85%. Entro tali condizioni di contorno sono possibili attacchi da parte di funghi e insetti.
- **Classe d'utilizzo 3:** tale classe include quelle realizzazioni (o porzioni di esse) entro le quali l'umidità del legno è frequentemente sopra il 20%; il legno è esposto direttamente alle precipitazioni atmosferiche (allo stesso tempo non è a contatto diretto né con il terreno né con l'acqua). Sono naturalmente possibili attacchi da parte di funghi e insetti.

**Nota:** in considerazione della concezione architettonica dell'edificio, può verificarsi che un componente si trovi ad essere a contatto diretto con il terreno o con l'acqua. In tale evenienza l'elemento (o porzione di esso) deve essere considerato in classe d'utilizzo 4.

La "classe d'utilizzo 3" comprende le seguenti "sotto-classi":

- **Classe d'utilizzo 3.1:** all'interno di tale classe vengono ad essere comprese quelle realizzazioni dove il drenaggio d'acqua e/o la ventilazione consentono una rapida cessione di umidità da parte del materiale; come risultato l'umidità del legno è solo saltuariamente superiore al 20%.
- **Classe d'utilizzo 3.2:** la classe 3.2 comprende realizzazioni entro le quali non è garantito né il drenaggio di acqua, né la ventilazione. In tal caso il rischio di attacchi di funghi e insetti è elevato in quanto il materiale legno può trovarsi frequentemente sopra al 20%.
- **Classe d'utilizzo 4:** comprende realizzazioni dove il materiale legno si trova a costante contatto con l'acqua o terreno. L'umidità del legno è quindi da considerare sopra al 20%. Entro tale ambito è necessario considerare la sostituzione periodica degli elementi (in funzione della classe di durabilità così come espressa dalla UNI EN 350) causa lo sviluppo di carie a carico di funghi e attacchi da parte di insetti xilofagi.
- **Classe di utilizzo 5:** legno a contatto con acqua marina

Classe di Utilizzo	Umidità del legno	Situazione di posa	Rischio di degrado a carico di		
			Insetti	Funghi	Carie soffice
0	Umidità del legno costantemente al di sotto del 20%; umidità relativa media al di sotto dell'85%; solo per brevi periodi umidità relativa sopra l'85%	Elementi installati all'interno di ambienti residenziali o in compartimenti riconducibili in termini di umidità relativa e temperatura	Sì	No	No
1	Umidità del legno costantemente al di sotto del 20%; umidità relativa sopra l'85% solo per brevi periodi	Legno riparato dalle intemperie e alla pioggia	Sì	No	No
2	Umidità del legno occasionalmente sopra al 20% per brevi periodi; umidità relativa media sopra l'85%	Legno riparato dalle intemperie e alla pioggia; occasionalmente possono crearsi situazioni di contorno con alta umidità relativa (ad es. fenomeni di condensazione)	Sì	Sì	No

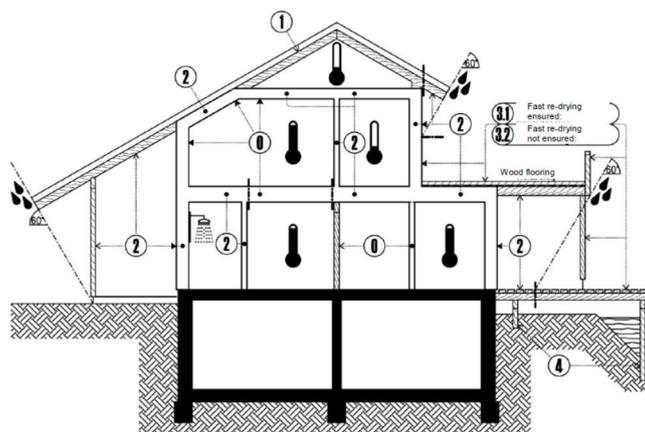
Appunti sulle costruzioni in legno

3	3.1	Umidità del legno occasionalmente sopra al 20%	Legno non riparato dalle intemperie, non a diretto contatto con il terreno o con l'acqua; drenaggio e ventilazione consentono al materiale una veloce perdita di umidità.	Sì	Sì	No
	3.2	Umidità del legno frequentemente sopra il 20%;	Legno non riparato dalle intemperie, non a diretto contatto con il terreno o con l'acqua; drenaggio e ventilazione non consentono al materiale una veloce perdita di umidità (ad es. dovuti ad una non corretta progettazione).	Sì	Sì	No
4		Umidità del legno sopra il 20%	Legno a contatto con acqua e/o con il terreno	Sì	Sì	Sì

Tabella 4.5 – Classi, posa e rischio di attacco biologico

Quindi si comprende subito che dei carichi di umidità, il progettista deve tener conto sia in fase di cantiere che durante la vita di esercizio del fabbricato, applicando laddove opportuno tutte le strategie necessarie a mantenere la struttura con un tasso di umidità inferiore al 20%, limite per cui si possono appunto innescare fenomeni di degrado da parte di organismi fungini.

In funzione delle classi sopra menzionate e ad una implementazione pratica all'interno di un dato edificio in legno si riporta di seguito possibili situazioni che possono verificarsi:



Legenda:	
	“Classi di utilizzo”
	Pacchetto esterno al fabbricato
	Pacchetto interno al fabbricato
	Pacchetto esterno / interno
	Confine tra due diverse classi di utilizzo
	Pacchetto aperto
	Pacchetto chiuso
	Ambiente riscaldato
	Ambiente non riscaldato
	Ambiente umido

Figura 4.6 – Possibili classi di utilizzo all’interno di un dato edificio in legno

#### 4.2.2 CLASSE DI UTILIZZO E CLASSE DI DURABILITÀ

Nel prospetto seguente sono riportate le classi di durabilità (UNI EN 350) in relazione alle relative classi di utilizzo. In assenza di particolari costruttivi e in riferimento alle classi di durabilità definite dalla UNI EN 350 devono adottarsi specie che soddisfino i requisiti indicati di seguito per la classe d’uso considerata.

Si ricorda che la classe di durabilità espressa si riferisce al solo durame. Può essere comunque ammesso dell’alburno nella misura entro la quale questo non è superiore al 5% all’interno della sezione trasversale visibile.

Classe di utilizzo	Classe di durabilità (funghi – UNI EN 350)				
	1	2	3	4	5
0	+	+	+	+	+
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	(+)	(+)
3.1	+	+	+ <sup>a)</sup>	(+)	—
3.2	+	+	—	—	—
4	+	+ <sup>b)</sup>	—	—	—

Legenda:

+ Durabilità naturale sufficiente

(+) Durabilità naturale sufficiente purché implementata da misure costruttive adeguate

— Durabilità naturale non sufficiente

<sup>a)</sup> Il Durame di Larice e Douglasia possono essere utilizzati anche in classe di uso 3.1

<sup>b)</sup> Entro la classe di uso 4 può ritenersi sufficiente l’utilizzo di legname appartenente alla classe di durabilità 2.

Tab. 4.7 – Classe d’Uso & classe di durabilità

### 4.3 SORGENTI DI UMIDITÀ PER UN'OPERA DI INGEGNERIA

Sempre in via del tutto schematica possono essere distinte due distinte “sorgenti” d’umidità che il progettista deve prendere in considerazione.

- “Sorgente” di umidità interna all’edificio: ossia l’umidità derivante dalla presenza di persone all’interno dell’edificio e dalla loro attività;
- “Sorgente” di umidità esterna all’edificio: ossia umidità causata da precipitazioni, sistemi di irrigazione e acqua dal sottosuolo. Per quanto riguarda le precipitazioni deve essere inoltre fatta un’analisi dei venti dominanti in quanto gli stessi possono essere veicolo di acqua piovana e quindi portare su particolari porzioni o facciate dell’edificio, possibili criticità innalzando contestualmente le relative spese di manutenzione. In particolari zone climatiche – laddove si abbiano zone particolarmente umide e oggetto di nebbia - deve essere preso in considerazione anche il possibile carico di umidità derivante il “vapor d’acqua” ambientale.

Un’ulteriore sorgente di umidità è chiamata “umidità di cantiere”: in altre parole si tratta di acqua contenuta all’interno (principalmente ma non solo) del calcestruzzo, che durante il processo di maturazione si libera all’interno dell’ambiente.

### 4.4 MECCANISMI DI MIGRAZIONE DELL’ACQUA ALL’INTERNO DELL’EDIFICIO

Ai fini di predisporre un efficace meccanismo di protezione dell’edificio o dell’opera in genere è necessario capire come e perché l’acqua può migrare all’interno dell’edificio, danneggiando eventualmente la parte strutturale dell’opera stessa. Tali aspetti devono esseri presi in considerazione principalmente in sede di progetto architettonico.

La migrazione di umidità all’interno dell’edificio solitamente avviene attraverso quattro meccanismi di seguito descritti brevemente:

- Acqua liquida: è il movimento dell’acqua sotto l’azione di forze quali ad esempio la gravità o la differenza di pressione tra ambienti diversi;
- Capillarità: è il movimento dell’acqua liquida all’interno di materiali porosi, risultante da quelle che vengono comunemente chiamate “tensioni superficiali”;
- Movimento d’aria: si riferisce al movimento del vapor d’acqua risultante movimenti d’aria non nello spazio ma anche all’interno dei medesimi materiali da costruzione;
- Diffusione: è il movimento del vapor d’acqua risultante una differenza di pressione tra ambienti confinanti.

In ambito costruttivo, sicuramente tra i quattro movimenti d’acqua descritti sopra, quelli di maggior impatto sono:

- Acqua liquida
- Capillarità

Infatti sia i processi di infiltrazione di acqua piovana (e quindi riconducibili ad acqua liquida) e i processi di infiltrazione dal sottosuolo (assimilabili ai fenomeni di capillarità) devono essere oggetto di attenzione sia in fase di progettazione (sia questa in primis architettonica che strutturale) che nelle successive fasi di costruzione dove sia il Costruttore (inteso come il soggetto responsabile dell’intera opera) che il Direttore Lavori devono far sì che il fabbricato possa essere garante della vita nominale dell’opera stessa.

Sembra altrettanto opportuno sottolineare che non devono essere comunque trascurati il carico di umidità derivanti “il movimento d’aria” e “diffusione” in quanto gli stessi possono essere allo stesso modo (e in assenza di particolari dettagli costruttivi) le prime cause derivanti possibili marcescenze della struttura.



Fig. 4.8 – Esempio - assorbimento d'acqua per capillarità di elementi verticali (fig. a sinistra); assorbimento d'acqua per capillarità di elementi orizzontali

## 4.5 MOISTURE DESIGN E L'EDIFICIO IN LEGNO

Per “moisture design” all'interno del presente paragrafo si devono intendere tutte quelle azioni di carattere progettuale dedicate a mitigare il rischio di degrado biologico derivanti appunto un innalzamento dell'umidità degli elementi portanti in legno.

Recenti studi di settore sono concordi nell'affermare che la prima causa di mancanza di durabilità di una struttura lignea sia deputata ad infiltrazioni d'acqua (principalmente dovuta a fenomeni atmosferici) all'interno del pacchetto costruttivo.

### 4.5.1 CONTROLLO DELL'ACQUA PIOVANA

Generalmente possono essere identificate due strategie per il controllo dell'acqua piovana a difesa dell'opera in legno (complementari tra loro):

- Minimizzare la quantità d'acqua piovana a contatto con la superficie dell'edificio;
- Gestire l'acqua che si viene a depositarsi sulla superficie e/o all'interno dei pacchetti costruttivi

In particolar modo è altrettanto chiaro che la penetrazione di acqua piovana avviene quando concorrono simultaneamente le seguenti condizioni.

- Nel pacchetto costruttivo, sia questo una struttura opaca orizzontale, verticale o inclinata è presente un'apertura o un foro;
- L'acqua sia materialmente presente nei pressi dell'apertura;
- Vi sia un vettore (forza) che porta l'acqua dall'esterno all'interno della stratigrafia.

In relazione ai possibili vettori, questi possono essere così riassunti:

- Forza di gravità;
- Pioggia di stravento
- Tensione superficiale;
- Capillarità;
- Energia Cinetica;
- Differenza di pressione del vapor d'acqua.

Di seguito vengono schematizzati i vettori di cui sopra, per una maggiore comprensione del testo.

#### 4.5.1.1 Forza di Gravità

La gravità è il maggior vettore da tenere in considerazione nei processi di infiltrazione d'acqua all'interno dell'abitato. Inoltre è anche la più facile da prevedere e l'ingresso di acqua all'interno della struttura è causato principalmente da qualità realizzate non corrette o da lavorazioni eseguite in cantiere senza tener presente l'importanza delle relative sigillature verso l'esterno.

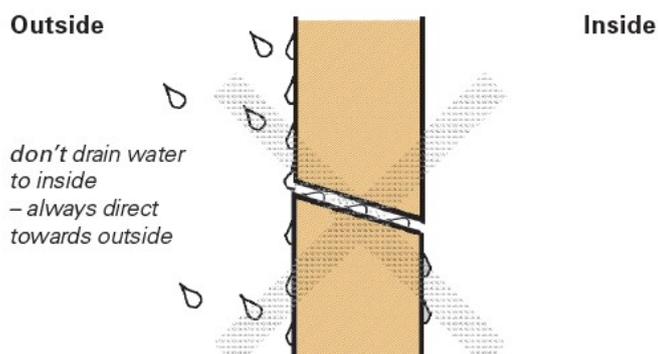


Fig. 4.9 – Migrazione dell'umidità all'interno dell'edificio per gravità (tradurre in sardo)

#### Come gestire le infiltrazioni di acqua per gravità?

La protezione dell'opera nei confronti delle infiltrazioni di umidità si ha ponendo attenzione durante la fase realizzativa (ad es. attraverso la posa corretta delle guaine e relativi sormonti) e successivamente in sede di progetto definendo pendenze minime e, se necessario, prevedere elementi a protezione della struttura.

#### 4.5.1.2 Pioggia di "stravento"

Le gocce di pioggia possono seguire diverse traiettorie guidate dal vento, impattando la superficie dell'edificio. Una volta che una goccia di acqua piovana colpisce una parete, tende a formare un film che inizia di conseguenza a fluire verso il basso. Contestualmente, sempre sotto l'azione del vento stesso, tale film tenderà a defletterà sia lateralmente che verso l'alto. Tale fenomeno comporta una maggior facilità di penetrazione dell'acqua piovana sotto l'azione del vento all'interno del pacchetto costruttivo, così come indicato nella figura 4.10 (a).

Inoltre si possono instaurare anche fenomeni di pioggia da rimbalzo che a sua volta possono interagire con la parte basale dell'edificio (vedi fig. 4.10 (b)).

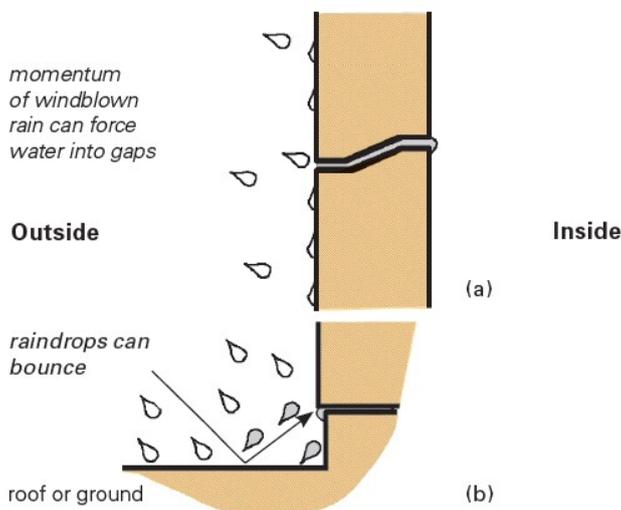


Fig. 4.10 – a) penetrazione dell'acqua all'interno dell'edificio causa effetto del vento; b) penetrazione dell'acqua causa pioggia da rimbalzo in prossimità del piede o della copertura

#### Come gestire le infiltrazioni di acqua da pioggia da "stravento"?

La protezione della struttura da pioggia da "stravento" la si ottiene prevalentemente prevedendo elementi a protezione delle partizioni verticali (ad es. tramite sporti di gronda). In relazione alla pioggia da rimbalzo è sempre necessario prevedere degli elementi imputrescibili alla base della struttura.

#### 4.5.1.3 Differenza di pressione

Il vento comporta sempre una certa pressione sulla parete; entro tale contesto i movimenti d'aria tenderanno ad ristabilire un equilibrio tra la pressione lato esterno e lato interno dell'abitazione. In altre parole, questo significa che eventuale pioggia trasportata dal vento stesso tenderà ad entrare in una qualsiasi apertura o foro presente sulla superficie dell'abitato (così come indicato in figura 4.9).

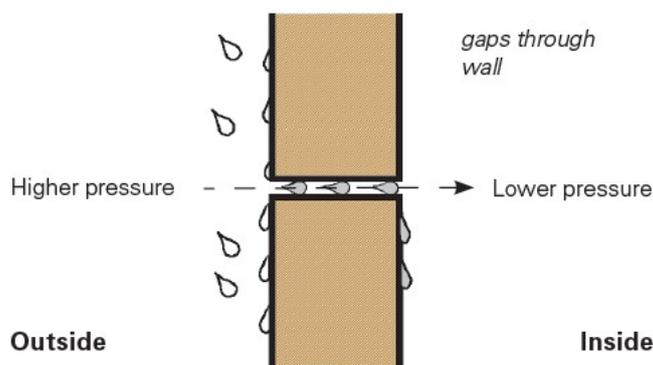


Fig. 4.11 – Differenza di pressione tra lato estero e interno

#### Come gestire le infiltrazioni di acqua causate dalle differenze di pressione?

La mitigazione del rischio correlata alle infiltrazioni per la casistica in questione può essere gestita attraverso una corretta sigillatura degli impianti e contestualmente considerando nella concezione del pacchetto costruttivo opportune barriere al vento (membrane).

#### 4.5.1.4 Tensione superficiale (capillarità)

Si tratta di una proprietà chimica dell'acqua, le cui molecole risultano avere una definita polarità. In particolare e a livello macroscopico si può osservare che gocce d'acqua a contatto con altri materiale, queste possono essere attratte dallo stesso. Qualora tale attrazione risultasse più forte rispetto alla gravità, si possono avere scorrimenti orizzontali di lamine d'acqua.

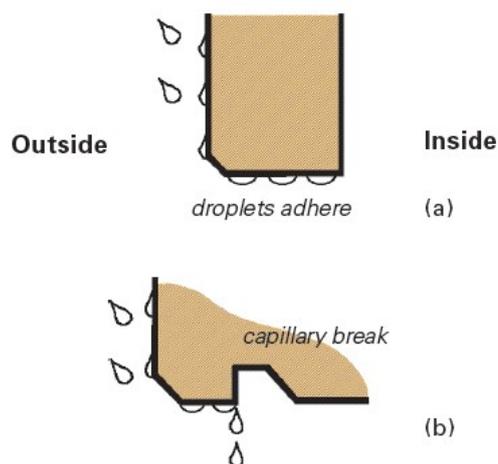


Fig. 4.12 – Tensione superficiale e meccanismo di capillarità dell'acqua (tradurre)

#### Come gestire le infiltrazioni dovute alla tensione superficiale?

Una possibile soluzione può essere data definendo geometrie come quella indicata nella figura 4.9 (b). Si ricorda infine che differenti materiali hanno differenti comportamenti nei confronti dell'acqua. Angoli di contatto ampi (tipici dei

materiali non porosi, ad es. alcuni metalli) indicano una bassa tensione superficiale; al contrario angoli di contatto più “stretti” indicano forze superficiali più alte (tipici dei materiali semi-porosi).

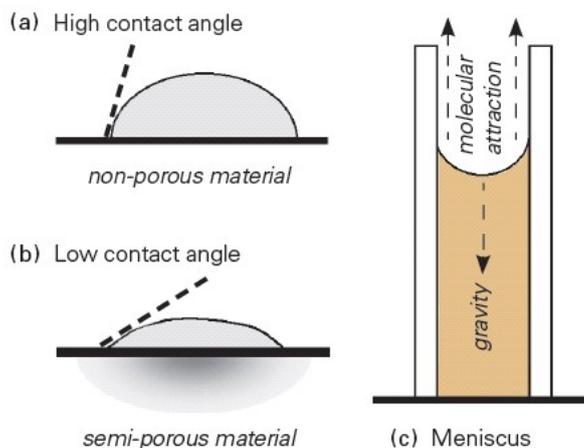


Fig. 4.13 – Tensione superficiale e menisco

#### 4.5.1.5 Capillarità

I meccanismi di tensione superficiale sono direttamente correlati con i fenomeni di capillarità. Qualora vi siano aperture o piccole fessurazioni, l’acqua è in grado di percorrerle anche in senso contrario alla forza di gravità. La capacità dell’acqua nel creare infiltrazioni per capillarità all’interno dell’edificio dipende dalla tipo di materiale con il quale l’acqua stessa è in contatto e dalla larghezza della fessura.

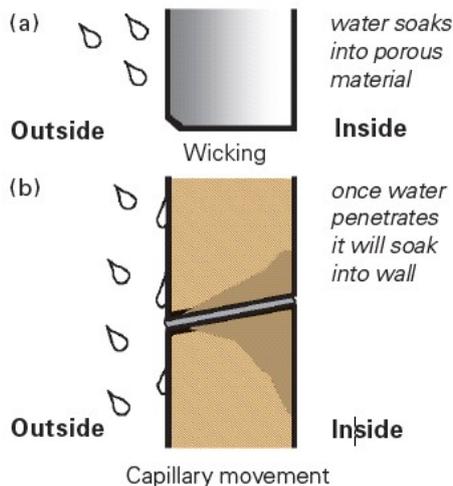


Fig. 4.14 – meccanismi di capillarità

#### Come mitigare il rischio di infiltrazioni per capillarità?

Innanzitutto la cura costruttiva deve essere il primo elemento di difesa dell’edificio; di seguito sono inoltre riportate casistiche esemplificative su come poter “risolvere” in senso geometrico eventuali possibili infiltrazioni per gravità.

#### 4.5.1.6 Umidità dell'aria e vapor d'acqua

Si tratta di vapor d'acqua; si ricorda che molte volte l'aria contenuta all'interno di un edificio sia più umida rispetto a quella esterna (anche in presenza di nebbia). Infatti l'umidità relativa è direttamente correlata alla capacità dell'aria di contenere acqua allo stato di vapore. Più la temperatura dell'aria sarà alta e maggiore sarà la capacità della stessa di acquisire umidità sotto forma di vapor d'acqua.

In senso fisico, il vapor d'acqua tenderà sempre a migrare da regioni ad alta pressione a regioni caratterizzate da basse pressioni di vapor d'acqua.

In particolare si possono schematizzare due condizioni di riferimento:

- Ambienti con stessa temperatura e differenti umidità relative: il vapor d'acqua migrerà dall'ambiente con la più alta umidità relativa (e quindi con un maggior pressione di vapor d'acqua) all'ambiente con minor umidità relativa e quindi con minor pressione di vapor d'acqua;
- Ambienti con differenti temperature e stessa umidità relativa: il vapor d'acqua migrerà dall'area con temperatura più alta (maggior pressione di vapor d'acqua) all'ambiente caratterizzato da una più bassa temperatura (minor pressione di vapor d'acqua).

#### Come gestire i movimenti di umidità dovuti a differenti pressioni di vapor d'acqua?

Come indicato precedentemente il movimento del vapor d'acqua avviene nella maggioranza dei casi dall'interno dell'edificio all'esterno; allo stesso modo lo stesso vapor d'acqua deve essere in grado di attraversare la parete senza creare rischi di condensa e allo stesso modo deve essere fatta particolare attenzione nella posa di barriere al vapore. Particolare attenzione deve essere inoltre prestata ai fenomeni di condensa interstiziale dove appunto il vapor d'acqua (attraversando il pacchetto costruttivo) può raggiungere il punto di rugiada (vedi fig. 4.12).

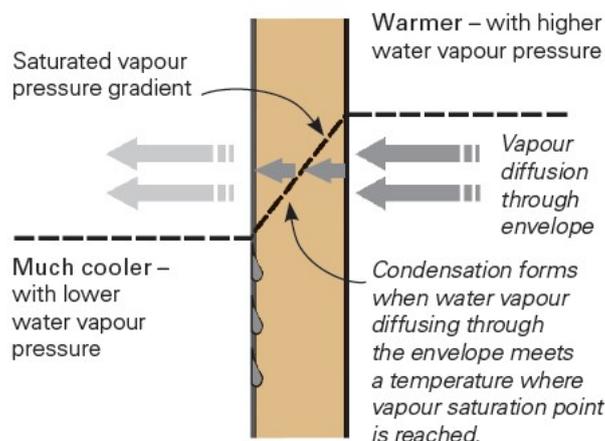


Fig. 4.15 – Condensa interstiziale

#### 4.5.2 LINEE DI DIFESA

In relazione ai possibili rivestimenti di facciata e ai meccanismi che intercorrono nel proteggere il pacchetto costruttivo considerato è necessario un approfondimento al fine di capirne il meccanismo.

##### a) Approccio "tradizionale"

L'approccio tradizionale al fine di definire una tenuta all'acqua dell'involucro attraverso l'utilizzo di elementi di protezione della stessa si basa essenzialmente sulla formazione di due linee di difesa, così come riportato in fig. 4.13.

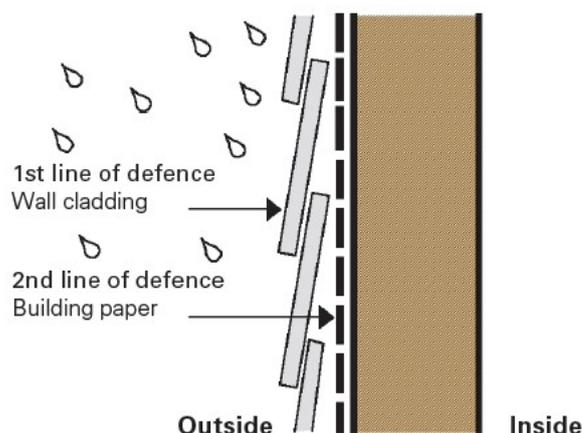


Fig. 4.16– Rivestimento di facciata: una prima linea di difesa definita dal rivestimento stesso e una seconda composta dallo strato di sacrificio della parete rivolto verso l'esterno.

Il concetto che sta alla base di tale principio è molto semplice: l'eventuale acqua che attraversa lo strato di rivestimento a muro viene bloccato dal secondo. Tale modello non è in grado comunque di soddisfare le esigenze di protezione della struttura nei confronti dell'umidità e non indica chiavi valutative al fine di razionalizzare l'architettura dell'opera e la sua relativa manutenzione.

#### b) Il principio delle "4Ds"

Il principio delle "4Ds" è un modello – sviluppato in Canada – che considera in modo completo i principi di difesa della struttura al fine di mitigare il rischio di infiltrazione di acqua. I criteri quindi di difesa per un edificio (a prescindere dal materiale con il quale è realizzato) dal "carico di umidità" sono articolati all'interno dei principi di progettazione, e prevedono (in ordine di importanza):

- *deflection*, in senso letterale "deviazione";
- *drainage*, "drenaggio";
- *drying* "possibilità di asciugare";
- *durable materials* "materiali durabili"

Tali principi sono inoltre riassunti all'interno della figura riportata di seguito (Fig. 4.17):

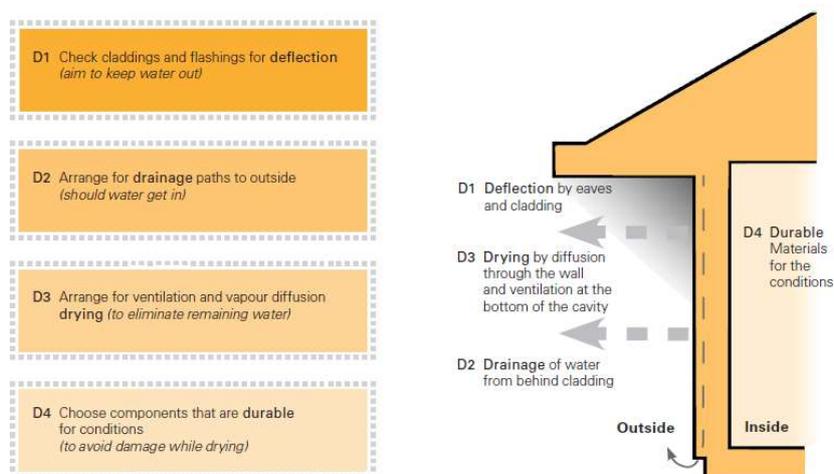


Fig. 4.17 – Principio delle 4D.

Tali principi hanno quindi una doppia valenza:

- sia per quanto riguarda gli aspetti macroscopici dell'edificio (quali ad esempio: la forma del fabbricato, le pendenze della copertura...)
- che gli aspetti di dettaglio (quali ad es. provvedimenti per l'impermeabilizzazione, per la ventilazione e la definizione di tutti quegli accorgimenti costruttivi) deputati a risolvere possibili situazioni di criticità che possono essere oggetto di innesco per un futuro degrado biologico dell'ossatura dell'opera.

In analogia quindi a quanto si prevede per le norme legate al dimensionamento degli elementi portanti, è sempre opportuno avere una "ridondanza" dei fattori di "difesa" nei confronti dell'umidità al fine di ottenere una corretta progettazione tecnologica dell'edificio.

#### 4.5.2.1 Deflection – Deviazione

In riferimento al controllo dell'acqua piovana, con il termine "deviazione" (Deflection) devono intendersi tutti quei provvedimenti progettuali e costruttivi che tendono a minimizzare l'impatto dell'acqua liquida sull'involucro dell'edificio. Tale principio di natura prettamente architettonica è il primo elemento di difesa e probabilmente il più importante.

Lo stesso può essere ottenuto mediante:

- a. Sporti di gronda o aggetti;
- b. Profili degli elementi di rivestimento;
- c. Elementi di protezione;

##### a- Sporti di gronda o aggetti

Elementi geometrici come la forma (ma anche verande e altri elementi aggettanti) della copertura e la formazione di sporti di gronda sono fondamentali al fine di definire una ragione manutenzione del fabbricato (vedi fig. 4.18 p.to a) . .

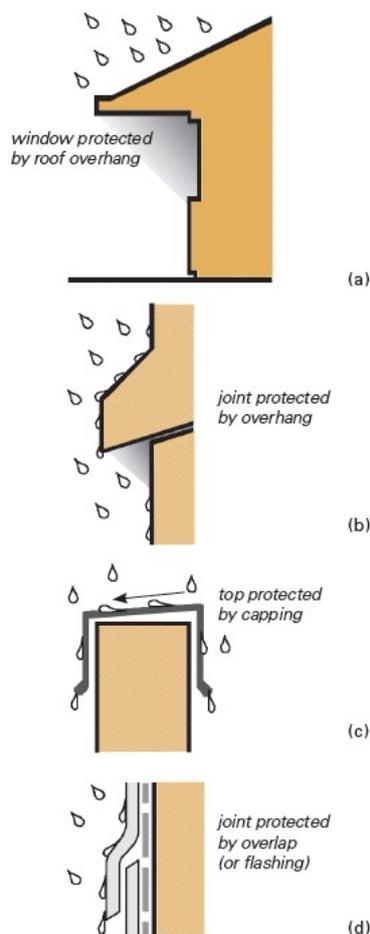


Fig. 4.18 – Deflection – esempi di protezione.

Si deve comunque considerare che elementi a copertura non possono offrire una adeguata protezione a tutta la porzione della parete (vedi figura 4.19); in altre parole diviene utile implementare tale misura con quanto indicato di seguito.

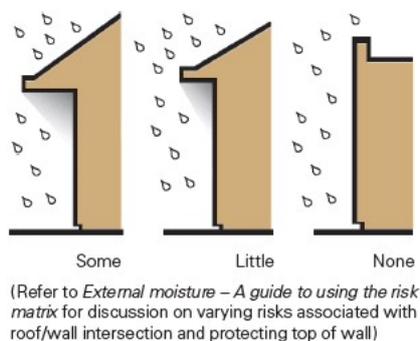


Fig. 4.19– Deflection – Limiti della protezione.

#### b. Profili degli elementi di rivestimento

Profili degli elementi di rivestimento possono senza dubbio aiutare nel proteggere la struttura o particolari nodi. Tali elementi possono essere considerati come "versioni in piccolo" degli elementi quali gli sporti di gronda o altri elementi orizzontali o inclinati previsti in sede di progetto (un esempio è riportato in fig. 14.15 b e d).

### c. Profili metallici a protezione della struttura

Tali elementi possono essere utilizzati sia in senso verticale che orizzontale. E' importante definire il corretto profilo degli stessi per favorire l'allontanamento delle acque meteoriche e contestualmente definire una pendenza che generalmente viene orientata verso l'esterno della struttura (in fig. 14.15c è riportato un esempio).

#### 4.5.2.2 Drainage – “Drenaggio”

Il presente principio include tutte quelle azioni progettuali che tendono ad allontanare l'acqua una volta che la stessa ha superato la prima barriera di difesa definita dal principio indicato come “Deflection”. La posa di elementi di rivestimento (con particolari profili che tendono ad allontanare l'acqua meteorica), così come cavità tra la struttura e gli elementi di facciata possono creare le condizioni per un drenaggio dell'acqua medesima tendendo quindi a mitigare il rischio di attacco fungino sulla struttura in legno. Il “Drenaggio” quindi è il secondo principio e può essere considerato come elemento ridonante rispetto a quanto già visto nel precedente paragrafo.

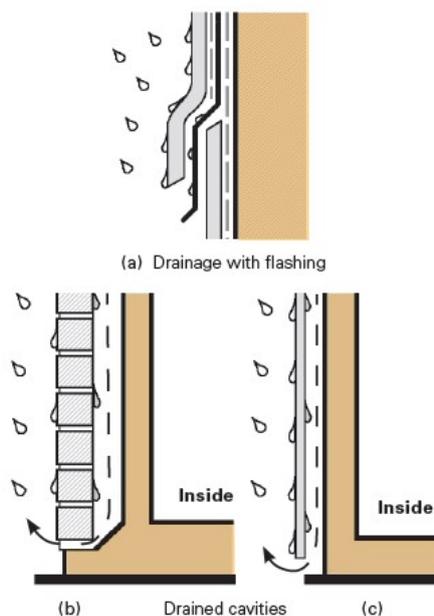


Fig. 4.20 – Drainage – Esempi.

#### 4.5.2.3 Drying – “Asciugatura”

Assicurando alla realizzazione un principio quale la cessione di umidità per diffusione o tramite ventilazione, si assicura altresì che il materiale legno (sia questo di facciata come ad uso strutturale) possa ritornare ad avere (naturalmente) condizioni di umidità inferiori al 18-20% (limite entro il quale si rende non possibile l'azione di degrado da parte di funghi) qualora appunto si verificano anomalie.

Da considerare che i processi con cui la struttura cede umidità sono estremamente diversi nel caso in cui si parli di ventilazione o di diffusione. Infatti e in senso generale, mentre nel primo caso, si parla di tempi per un ritorno dell'umidità del materiale intorno al valore normale del 12-15% nell'ordine di settimane, nel secondo caso (diffusione) si deve tenere presente che la struttura può impiegare mesi (naturalmente tali tempistiche sono influenzate dal clima della stazione di riferimento).

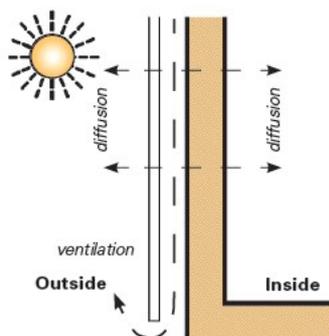


Fig. 4.21 – Drying – Diffusione o ventilazione

#### 4.5.2.4 Durable materials – “Materiali durabili”

Qualora non sia possibile o sussista ancora il pericolo entro il quale si possa verificare un attacco biotico da parte di funghi, è necessario prevedere in sede di progetto l'utilizzo di materiali durabili almeno in corrispondenza di quei nodi o porzioni dell'abitato che risultano non in linea con i principi di difesa sopra menzionata.

In particolare si consiglia di far riferimento a tale principio qualora gli elementi siano soggetti a periodico contatto con l'acqua. Naturalmente all'interno della presente casistica è indispensabile arrivare a concepire pacchetti costruttivi ventilati o che comunque possano procedere ad una restituzione dell'umidità acquisita attraverso meccanismi di diffusione.



Fig. 4.22 (a÷b) –Lamellare di Iroko (Olanda )con giunti a tutta sezione; Nessuna delaminazione (classe di servizio 3) - Struttura esposta (15 anni)

Si sottolinea quindi che, il processo di progettazione di un'opera in legno ha la necessità di avere competenze sia di carattere ingegneristico che tecnologico e che solo costruttori e professionisti aventi l'opportuno bagaglio tecnico possono essere garanti della qualità del costruito.

## 5 NODI COSTRUTTIVI E PARTICOLARI DI ESECUZIONE

### 5.1 PREMESSA

All'interno del presente capitolo e in riferimento a ricerche di carattere internazionale, si riportano casistiche esemplificative dedicate ad una corretta concezione dei seguenti nodi e particolari costruttivi:

- Attacco a terra;
- Nodo serramento;
- Attacco del balcone;

Inoltre sempre in merito all'argomento verranno trattate tematiche di esecuzione soprattutto per quelle componenti soggette ad una più facile infiltrazione di umidità o acque meteoriche.

I paragrafi che seguiranno cercano di prendere in considerazione un approccio multidisciplinare alla progettazione, al fine di sensibilizzare tutte le figure nel porre attenzione all'esecuzione di quei particolari costruttivi "sensibili" nei confronti della durabilità: la sicurezza e qualità del costruito è prima di tutto un concetto di filiera, che vede coinvolta sia l'impresa specializzata nel montaggio delle opere strutturali in legno, quanto l'impresa generale (molte volte in ambito di gara pubblica deputata ad eseguire le impermeabilizzazioni), tanto le figure professionali atte alla progettazione e al controllo del cantiere.

#### 5.1.1 ATTACCO A TERRA: GENERALITÀ

Entro tale paragrafo si farà riferimento in particolar modo ai dettami indicati all'interno della DIN alla DIN 688000-2 "Protezione del legno – Parte 2: Misure costruttive per la prevenzione dei danni agli edifici" e la serie ÖNORM B 3802 dedicata alle misure protettive per gli elementi in legno utilizzati all'interno di edifici.

L'attacco a terra rappresenta un particolare critico soprattutto nei confronti di rischi connessi all'umidità di risalita. Per tale motivo è necessario prendere tutti gli accorgimenti necessari al fine di garantire una corretta concezione del nodo: in primis è consigliato (secondo le norme DIN sopra menzionate) uno cordolo a base cementizia alto almeno 30 cm. Elementi in larice o comunque di specie considerate secondo la UNI EN 350 più durabili rispetto all'Abete (normalmente specie utilizzata come ossatura portante dell'opera) non sempre forniscono l'adeguata efficienza strutturale e tecnologica e – specialmente su strutture ingegneristicamente complesse (sopra i 3 piani fuoriterra) sono da sconsigliare. Entro tale ambito sono da preferire cordoli realizzati in calcestruzzo.

L'altezza suggerita può essere comunque ridotta, ma necessita di particolari attenzione in riferimento principalmente a nozioni di tecnologia del legno. Uno di questi provvedimenti, può essere costituito dalla realizzazione di particolari drenaggi come altresì eventuali impermeabilizzazioni, nonché lavori di dettaglio atti a creare pendenze che possano assicurare l'allontanamento delle acque meteoriche (e non solo); in ogni caso si consiglia di rispettare, la distanza minima di 10 cm tra la soglia di calpestio e il terreno e di 5 cm tra la soglia di calpestio e relativo strato drenante (superficie di scolo).

È altrettanto palese che – tranne casi di carattere eccezionale – la superficie di appoggio per la realizzazione delle strutture in elevazione in legno non può essere mai al di sotto del piano di campagna

In riferimento alle misure progettuali al fine di garantire una corretta concezione dell'opera (vedi regola delle "4D" sopra brevemente descritta), il primo strumento per garantire una razionale manutenzione del fabbricato è la "protezione" attraverso adeguate sporgenze del tetto o pensiline / aggetti in genere. Qualora non sia possibile prevedere le adeguate sporgenze e elementi a protezione della facciata della struttura è sempre buona regola prevedere grigliati con larghezza  $\geq 12$  cm.

È consigliato che negli esecutivi di riferimento siano presenti le altezze per i relativi risvolti delle membrane in facciata e che si lasci in ogni caso al materiale "legno" la possibilità di cedere umidità con l'ambiente circostante in modo da evitare qualsiasi possibilità di "trappole di umidità". Allo stesso modo è altrettanto importante che vi siano date le opportune pendenze al terreno nell'interno dell'abitato per facilitare il deflusso delle acque meteoriche.



Fig. 5.1 – Esempio posa di grigliato nell'intorno dell'attacco a terra dell'edificio

Dato che la realizzazione della cordolatura di posa delle pareti dell'edificio rappresenta una tematica decisamente importante si deve fare attenzione prima di tutto in sede di progettazione e ottimizzazione delle operazioni di taglio degli elementi oggetto di prefabbricazione. E' importante inoltre che vi sia un lavoro sinergico con l'azienda che realizza il piano di fondazione e la ditta esecutrice delle opere in elevazione incaricata dal committente. Entro tale frangente è altrettanto importante che la Direzione Lavori garantisca una presenza costante in cantiere perché vengano prese tutti gli accorgimenti identificati all'interno del progetto.

Infatti lo stesso cordolo deve soddisfare per la durata di vita presunta della costruzione, la funzione di protezione della struttura lignea in elevazione: non è corretto demandare alla sola guaina la funzione di protezione e di prevenzione verso i possibili attacchi biotici da parte di funghi, ma deve essere garantita una ridondanza di protezioni entro tale nodo costruttivo affinché si abbia una manutenzione del fabbricato compatibile con l'utilizzo previsto dell'edificio. Non rispettare tale condizione comporta nel breve medio periodo problemi di durabilità dell'edificio e conseguenti costi di ripristino da parte del committente.

#### 5.1.1.1 Esecuzione dell'attacco a terra

All'interno del presente paragrafo si prendono in considerazione le misure di mitigazione del rischio contro:

- L'umidità di risalita dal terreno;
- Protezione contro le acque meteoriche e di rimbalzo

Secondo la norma ÖNORM B 2320 le impermeabilizzazioni o barriere contro l'umidità di risalita dalla struttura sottostante (platea di fondazione) devono essere realizzate con materiali idonei come ad es. membrane bituminose e simili; la sola applicazione a mano del materiale impermeabilizzante nella zona dello zoccolo esterno non è da ritenersi sufficiente e si consiglia di estendere l'impermeabilizzazione a tutta la platea di fondazione.

Nel caso di strutture prefabbricate si consiglia l'utilizzo di un nastro adesivo esterno (prima della posa della zoccolatura del cappotto) proprio al fine di rendere minima eventuali infiltrazioni provenienti da pioggia da rimbalzo (si veda fig. 5.2).



Fig. 5.2 – Sigillatura del giunto parete esterna / cordolo di attacco a terra tramite nastratura (prima del montaggio della coibentazione della zoccolo quale elemento ad innesto)

Nel caso in cui si provveda ad una esecuzione in loco o ad una prefabbricazione parziale, dal solo lato della costruzione rivolto verso l'interno si deve provvedere a tendere opportuna guaina impermeabilizzante (a tal proposito si veda a titolo di esempio la figura 5.3).



Fig. 5.3 – Sigillatura del giunto parete esterna / cordolo di attacco a terra tramite guaina liquida. Si veda nel presente caso la disposizione degli hold-down (posizione corretta in quanto soggetti a “lavorare a trazione” e non a compressione)

Il cordolo, realizzato in c.a., può in alternativa alla figura 5.3 avere una larghezza utile sufficiente per consentire la corretta disposizione dell'armatura e garantirne la tenuta dopo il getto. Ultimamente il mercato ha proposto delle nuove soluzioni per questo nodo facendo uso di manufatti metallici, in alluminio e acciaio, che hanno lo scopo di alzare la quota di posa della parete e permettere un minimo di aerazione alla base della parete stessa. Si precisa inoltre che la risalita di umidità per capillarità è quel fenomeno per cui l'acqua presente nel terreno tende a risalire contro gravità all'interno della platea sfruttando la porosità del calcestruzzo per effetto capillare. In questo caso il cemento armato funziona da pompa osmotica prelevando l'acqua dal terreno e portandola verso l'alto. Se appoggiassimo direttamente la parete sul cemento, a lungo andare l'umidità presente nel cemento migrerebbe alla base della parete in legno che inizierebbe a marcire. La soluzione migliore è interporre una barriera alla risalita di umidità tra fondazione e legno attraverso la posa di una guaina

bituminosa tra cemento e legno. Vanno tuttavia evitate le guaine a cuffia incollate al legno che non permettono al legno di traspirare correttamente, come pure le guaine adesive di collegamento tra legno e cemento.



Fig. 5.4 – Attacco a terra non corretto; la parete in CLT è stata posata direttamente sulla platea senza una guaina di separazione.



Fig. 5.5 – Attacco a terra eseguito correttamente, la guaina bituminosa protegge il CLT dalla risalita dell'umidità per capillarità.

Il vapore dell'aria interna che traspira verso l'esterno, lo fa anche nel nodo dell'attacco a terra, e dal momento che molto spesso si tratta del punto più freddo della casa, spesso si forma condensa. L'unico modo è isolare correttamente il nodo ed eseguire un'analisi termica agli elementi finiti per verificarne la correttezza; è quindi fondamentale eliminare il ponte termico tra legno e cemento.

#### 5.1.1.2 La Normativa Tedesca: DIN 688000-2

Dando uno sguardo alla normativa DIN tedesca, possiamo comprendere come è stato affrontato il tema dell'attacco a terra in Germania. Di seguito riportiamo alcuni dettagli estratti dalle norme DIN che, pur facendo riferimento ad un contesto edilizio nord-europeo, restano comunque delle utili indicazioni da adottare.

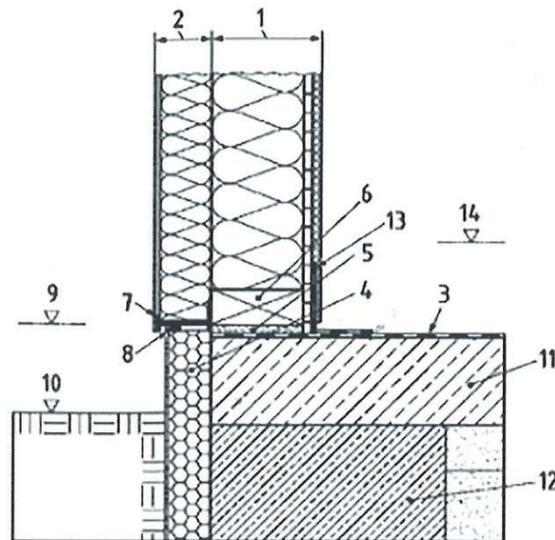


Fig. 5.6 - Parete esterna con soglia sporgente rispetto alla fondazione con sistema di isolamento termico

**Legenda:**

1. Struttura portante variabile (tecnologia Xlam, telaio, legno massiccio, ecc.), stratigrafia secondo il sistema di isolamento termico prescelto
2. Sistema di isolamento termico stratificato con certificazione di idoneità a carico del direttore lavori
3. Guaina protettiva contro l'umidità di risalita
4. Isolamento perimetrale della piattaforma con materiale isolante
5. Iniezione cementizia livellante
6. Cordolo di legno duro classe di utilizzo GK 0 ( $U < 20\%$ )
7. Profilo di sostegno del sistema di isolamento termico (doppia T di materiale isolante)
8. Guarnizione di sigillatura dei giunti
9. Soglia della piattaforma che deve essere di almeno 15 cm sopra il livello del suolo esterno
10. Livello del suolo esterno
11. Piattaforma
12. Fondamenta
13. Guarnizione a tenuta stagna tra parete e guaina protettiva contro l'umidità di risalita
14. Livello del pavimento finito

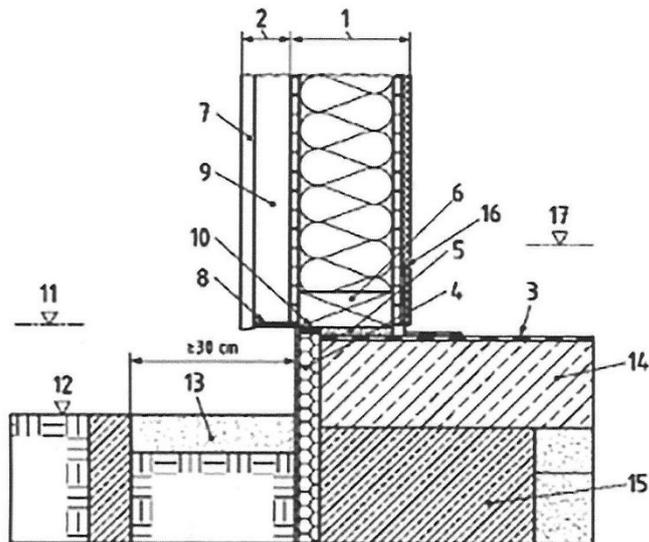


Fig. 5.7 - Punto più basso della parete esterna sporgente dalla fondazione con facciata ventilata

**Legenda:**

1. Struttura portante variabile (tecnologia Xlam, telaio, legno massiccio, ecc.), stratigrafia secondo il sistema di isolamento termico prescelto
2. Facciata ventilata
3. Guaina protettiva contro l'umidità di risalita
4. Isolamento perimetrale della piattaforma con materiale isolante
5. Iniezione cementizia livellante
6. Cordolo di legno duro classe di utilizzo GK 0 (U<20%)
7. Pannello di facciata
8. Schermo di protezione contro l'invasione di animali e insetti
9. Spazio arieggiato
10. Guarnizione di sigillatura dei giunti
11. Soglia della piattaforma che deve essere di almeno 15 cm sopra il livello del suolo esterno
12. Livello del suolo esterno
13. Letto di ghiaia
14. Piattaforma
15. Fondamenta
16. Guarnizione a tenuta stagna tra parete e guaina protettiva contro l'umidità di risalita
17. Livello superiore del pavimento finito

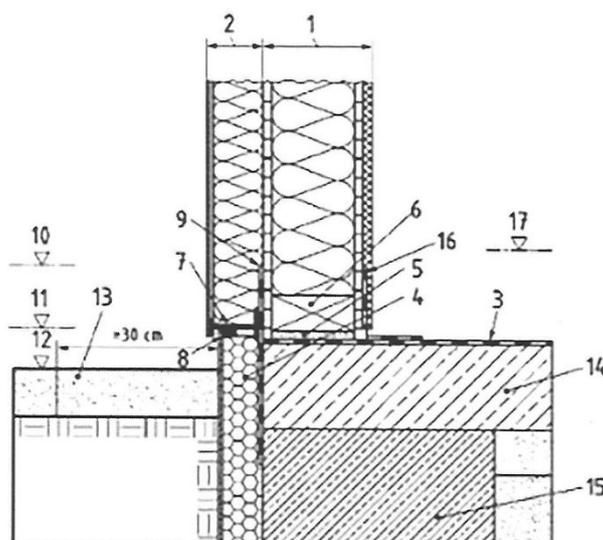


Fig. 5.8 - Parete meno distanziata dalla fondazione con letto di ghiaia sulla facciata esterna

**Legenda:**

1. Struttura portante variabile (tecnologia Xlam, telaio, legno massiccio, ecc.), stratigrafia secondo il sistema di isolamento termico prescelto
2. Sistema di isolamento termico stratificato con certificazione di idoneità a carico del direttore lavori
3. Guaina protettiva contro l'umidità di risalita
4. Isolamento perimetrale della piattaforma con materiale isolante
5. Iniezione cementizia livellante
6. Cordolo di legno duro classe di utilizzo GK 0 (essiccato in modo che non vi siano attacchi di insetti e microrganismi)
7. Profilo di sostegno del sistema di isolamento termico (doppia T di materiale isolante)
8. Guarnizione di sigillatura dei giunti
9. Guaina di sigillatura verticale secondo DIN 18195-4
10. Livello di sigillatura della guaina allo stato finale, che deve superare i 15 cm di lato superiore del cordolo di legno duro
11. Lato inferiore del cordolo di legno duro che, nello stato finale, deve trovarsi ad almeno 5 cm sopra il livello della pavimentazione esterna
12. Livello del suolo esterno
13. Letto di ghiaia
14. Piattaforma
15. Fondamenta
16. Guaina di raccordo a tenuta stagna fra parete e guaina protettiva
17. Livello superiore del pavimento finito

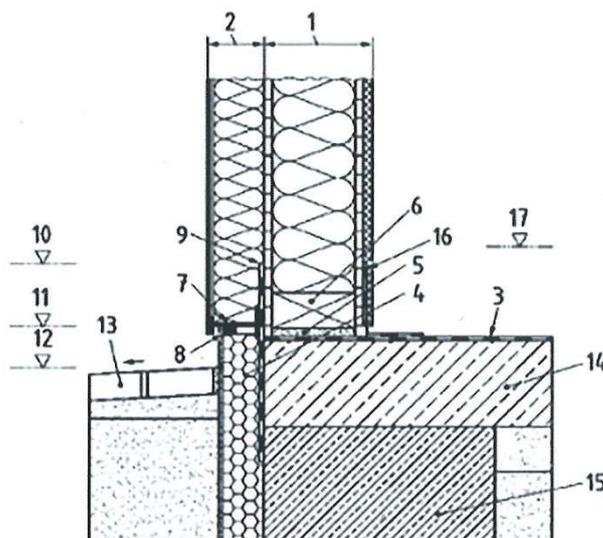


Fig. 5.9 - Parete meno distanziata dalla fondazione con letto di ghiaia sulla facciata esterna

#### Legenda:

1. Struttura portante variabile (tecnologia Xlam, telaio, legno massiccio, ecc.), stratigrafia secondo il sistema di isolamento termico prescelto
2. Sistema di isolamento termico stratificato con certificazione di idoneità a carico del direttore lavori
3. Guaina protettiva contro l'umidità di risalita
4. Isolamento perimetrale della piattaforma con materiale isolante
5. Iniezione cementizia livellante
6. Cordolo di legno duro classe di utilizzo GK 0 (essiccato in modo che non vi siano attacchi di insetti e microrganismi)
7. Profilo di sostegno del sistema di isolamento termico (doppia T di materiale isolante)
8. Guarnizione di sigillatura dei giunti
9. Guaina di sigillatura verticale secondo DIN 18195-4
10. Livello di sigillatura della guaina allo stato finale, che deve superare i 15 cm di lato superiore del cordolo di legno duro
11. Lato inferiore del cordolo di legno duro che, nello stato finale, deve trovarsi ad almeno 5 cm sopra il livello della pavimentazione esterna
12. Livello del suolo esterno
13. Copertura di terrazzo o di balcone con strato impermeabilizzato e pendenza minima 2%
14. Piattaforma
15. Fondamenta
16. Guaina di raccordo a tenuta stagna fra parete e guaina protettiva
17. Livello superiore del pavimento finito

#### 5.1.1.3 Considerazioni per la manutenzione della parte basale dell'edificio

Di seguito si riportano ulteriori considerazioni in relazione all'attacco a terra, cercando contestualmente di fornire al lettore una panoramica delle soluzioni presenti sul mercato e allo stesso modo di renderlo consapevole circa gli aspetti di manutenzione del fabbricato (a tal proposito si rimanda al rispettivo allegato dedicato agli aspetti di uso e manutenzione del fabbricato).

Innanzitutto il terreno nell'intorno dell'edificio: è necessario assicurare che vi siano date le corrette pendenze al fine di consentire l'allontanamento delle acque meteoriche: si consiglia una pendenza minima del 2%.

Eventualmente la realizzazione di una zoccolatura arretrata può favorire una protezione dalla pioggia di rimbalzo e dagli agenti meteorici, quali ad esempio pioggia di stravento.



Fig. 5.10 – Zoccolatura ben arretrata; si noti lo strato di ghiaia intorno all'edificio per assicurare una ridondanza delle misure di protezione alla struttura che assicura un drenaggio delle acque meteoriche.

Anche nel caso di facciate ventilate in legno è necessario prendere gli adeguati accorgimenti costruttivi al fine di definire una corretta manutenzione dell'edificio. In questo caso – nel caso si utilizzi elementi di rivestimento in legno – è consigliabile una disposizione degli stessi in senso orizzontale in modo da permettere l'eventuale sostituzione con maggior facilità. Inoltre è necessario predisporre gli adeguati elementi a protezione della struttura in modo da preservarne aspetto (per quanto possibile) e funzionalità del rivestimento stesso.



Fig. 5.11 – esecuzione di una facciata in legno con listelli (rivestimento) disposti in senso verticale con protezione contro la pioggia di rimbalzo adeguata ( $\geq 30$  cm altezza dello zoccolo esterno e letto di ghiaia per consentire il drenaggio della stessa).



Fig. 5.12 – esecuzione di una facciata in legno von listelli (rivestimento) verticale senza prendere in considerazione particolari costruttivi adeguate. Sono visibili dopo poco tempo le prime variazioni cromatiche di color nerastro (segno evidente di sviluppo di ife fungine)

Allo stesso tempo possono essere altresì previsti dei grigliati nell'intorno dell'edificio, come già indicato all'interno della figura 5.1.

Infine in relazione agli aspetti di manutenzione è necessario che tale porzione dell'edificio sia soggetta a pulizia, cura e manutenzione programmata da parte del utente o del addetto alla manutenzione. Ad intervalli regolari devono essere fatti come minimo dei controlli a vista. Nel caso di anomalie deve essere contattata una ditta specializzata.

Si fa notare in maniera decisa che tutti i sistemi di drenaggio come p.e. i tubi di drenaggio, i letti di ghiaia, i sistemi di filtraggio, le canalette di scolo, i grigliati, ecc. devono essere controllati regolarmente ed in caso devono essere puliti o fatti i lavori di manutenzione o deve essere incaricata una ditta specializzata. Questi lavori comprendono anche la rimozione della neve e del fogliame eventualmente accumulato.

Omettere o trascurare i lavori di pulizia e di manutenzione comporta alla perdita del funzionamento dei sistemi di drenaggio e di conseguenza porta a danni alla struttura dell'edificio. Inoltre si consiglia di sottoporre a controlli visivi regolari tutte le sigillature dei giunti, membrane impermeabilizzanti a vista, la facciata stessa e i raccordi delle finestre, porte e altre aperture nella facciata – in breve l'involucro della casa – e verificare che non ci siano parti particolarmente sporche, crepe, macchie umide o altri danni. Gli intervalli di manutenzione dipendono da diversi fattori, come p.e. il tipo di edificio, la posizione geografica, il dintorno, le condizioni meteoriche, eventi eccezionali, il comportamento dell'utente ecc.

Per la pulizia e la manutenzione viene indicato un intervallo minimo pari a 2 volte per anno o dopo eventi eccezionali come forti temporali, burrasche, cadute di neve, ecc..



Fig. 5.13 – canaletta di scolo riempita con fogliame e sporcizia. Questa deve essere pulita e sottoposta a lavori di manutenzione regolarmente per garantire un funzionamento continuo

A tal proposito il committente deve essere opportunamente informato dal costruttore attraverso una manuale di uso e manutenzione (riportato nel seguito del presente volume) al fine di conoscere periodicità e azioni da svolgere nel corso della vita nominale dell'opera.

## 5.2 ATTACCO SERRAMENTO

Il nodo di attacco del serramento e una sua concetta concezione è di fondamentale importanza nel definire una durata nel tempo delle prestazioni del fabbricato sia da un punto di vista energetico che strutturale. Oltre ad un posizionamento del serramento entro il foro architettonico è necessario procedere a definire una serie di accorgimenti dedicati

In particolar modo il bancale deve rispondere ad esigenze di protezione della struttura e di far allontanare le acque meteoriche, controllandone il percorso. Tali considerazioni, che potrebbero sembrare banali, possono portare ad inefficienze da parte dell'involucro e creare numerosi problemi durante l'esercizio dell'opera stessa. Lo scopo del presente paragrafo è quello di sensibilizzare le ditte specializzate a studiare in modo accurato, e in collaborazione reciproca, la problematica della messa in opera del serramento e di dare un supporto nel risolvere tale nodo di raccordo per progettisti, redattori di capitolati e ditte esecutrici. Le presenti indicazioni possono essere quindi viste come uno strumento di supporto, che non prescinde (anche in considerazione della variabilità dei serramenti in commercio) uno studio ad hoc del particolare costruttivo.

Di seguito si preferisce riportare casi esemplificativi al fine di dare una maggior comprensione al testo riportato di seguito.

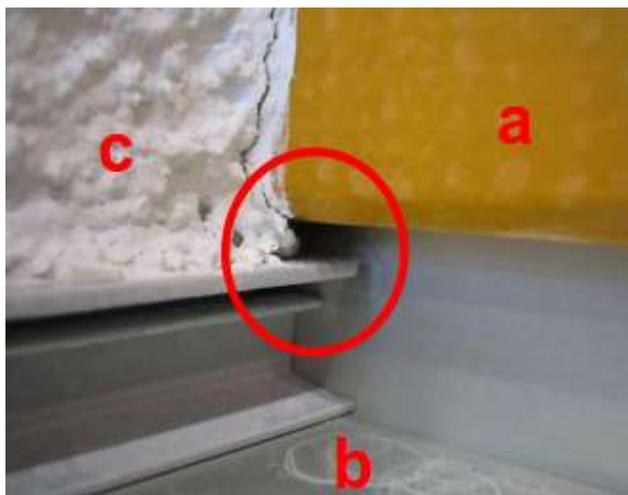


Fig. 5.14 - esempio di alcune lacune esecutive nel raccordo angolare tra finestra (a), bancale (b) e facciata / spalletta (c)

In relazione proprio al tema dell'impermeabilizzazione è possibile scindere due tipologie di azione deputate alla difesa della struttura.

- a. particolare con un'unica superficie drenante; in questo caso il davanzale con i rispettivi raccordi rappresenta l'unico strato drenante che allo stesso tempo deve essere anche lo strato impermeabilizzante. L'infiltrazione dannosa nei pressi del davanzale e i rispettivi raccordi deve essere quindi impedita (in modo durativo nel tempo) da tale unico strato impermeabilizzante.

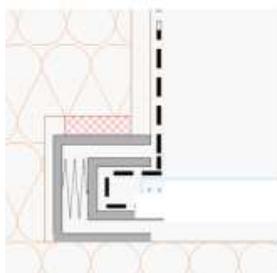


Fig. 5.15 - esempio con unica superficie di scolo (= strato impermeabilizzante)

- b. particolare con due superfici drenanti; in questo caso il davanzale rappresenta principalmente la prima superficie drenante mentre lo strato sottostante rappresenta la seconda superficie drenante del "sottobancale" (= strato impermeabilizzante), la quale impedisce l'infiltrazione di possibili acque piovane nella struttura sottostante. Questo secondo strato potrebbe essere una guaina a forma di vasca, uno strato realizzato con impermeabilizzanti liquidi o boiaccia impermeabilizzante.

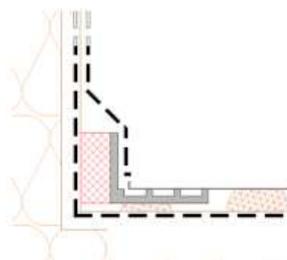


Fig. 5.16 - esempio di raccordo del davanzale alla spalletta con due superfici drenanti (lo strato 1 corrisponde al davanzale stesso, lo strato 2 all'impermeabilizzazione a forma di vasca sottostante)

### 5.2.1 PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DEL DAVANZALE

Di seguito e per punti si riportano i principali elementi al fine di giungere ad una razionale la progettazione del davanzale. Diviene quindi necessario prendere in considerazione:

- il materiale ed eventualmente il sistema dei componenti di posa del davanzale medesimo;
- il tipo di raccordo del davanzale;
- l'individuazione dei punti idonei per l'attacco dei supporti del davanzale, se richiesto (p.e. per davanzali in pietra, se la superficie d'appoggio del parapetto risulta essere inferiore a 2/3);
- I davanzali non sono calpestabili; ad eccezione di pedate per porte, che devono essere progettate ed eseguite separatamente;
- per davanzali di per sé non impermeabili (p.e. davanzali in pietra naturale) o nel caso di sistemi per davanzali non eseguiti "a vasca" si deve sempre prevedere una seconda superficie drenante impermeabile;
- qualsiasi movimento del davanzale (dovuto a variazioni termiche oppure da azioni del vento sopravvento / sottovento) non deve essere trasferito nel sistema facciata, ma devono essere ripartito / assorbito dal sistema davanzale stesso oppure dal tipo di supporto scelto.
- l'inclinazione del davanzale va eseguita verso l'esterno con una pendenza minima del 2,0%.
- un cuneo di materiale termoisolante sotto il davanzale.
- la sporgenza del davanzale deve risultare pari a minimo 40mm rispetto al filo esterno del sistema di facciata finito. Per davanzali in pietra naturale e artificiale la distanza tra lo sgocciolatore / incavo e il filo esterno della facciata finita deve essere al minimo pari a 30mm.
- Per davanzali in pietra naturale e artificiale devono essere previste delle scanalature oppure degli appositi raccordi di chiusura laterale.

Inoltre:

- durante la posa devono essere rispettate le temperature di lavorazione prescritte dei diversi materiali (secondo prescrizioni del produttore).
- a causa delle dilatazioni termiche (accorciamenti o allungamenti) del davanzale devono essere rispettate le larghezze minime dei giunti.
- per motivi estetici si consiglia di limitare la larghezza delle fughe a 15mm. Riguardante le possibilità tecniche nel realizzare fughe maggiori devono essere rispettate le raccomandazioni del produttore.
- nel caso di esecuzioni con una superficie drenante si deve fare attenzione di non avere intercapedini sotto i davanzali (interstizi "sottobancali"). Nel caso di un'ulteriore superficie di scolo d'acqua impermeabile (p.e. nel caso di una messa in opera successiva del davanzale) sono ammessi interstizi (p.e. intercapedini tra i rotoli di colla – si veda figura 10). Il giunto orizzontale sotto il davanzale può rimanere aperto. Il giunto può essere anche chiuso per motivi estetici. Questo può avvenire tramite nastri sigillanti permeabili e decompressi (si veda figura 5.15). In questo caso il giunto deve essere chiuso in maniera non impermeabile (p.e. tramite materiale sigillante a spruzzo).



Fig. 5.17 - rotoli di colla sulla seconda superficie drenante, sui quali viene incollato il davanzale. Le intercapedini tra i rotoli di colla sono ammissibili. Il raccordo del cuneo di materiale isolante / lastra di facciata con il profilo di raccordo del davanzale avviene tramite nastro sigillante

### 5.2.2 ULTERIORI INDICAZIONI CIRCA IL DAVANZALE

Come già sottolineato nei paragrafi precedenti, il davanzale ha un ruolo principalmente funzionale: deve infatti garantire il deflusso dell'acqua piovana oltre la parete per evitare di bagnare e quindi danneggiare la facciata.

In Italia però i davanzali hanno anche una funzione estetica e quindi, nonostante le grandi innovazioni tecnologiche che hanno riguardato la finestra, i davanzali si richiamano al passato e sono ancora quasi sempre in pietra, con una larghezza leggermente maggiore rispetto al serramento in modo da infilarsi lateralmente per qualche centimetro sotto il muro. Data la mancanza di alette laterali per il contenimento dell'acqua piovana, i davanzali in pietra sono poco efficaci nel farla defluire oltre la facciata; infatti non è raro vedere sulle pareti dei "baffi" lateralmente al davanzale, nei punti in cui l'acqua, dopo aver raccolto la polvere del davanzale, scorre lungo la parete.

Altro difetto frequente nel nostro Paese è quello relativo alle infiltrazioni di acqua verso l'interno, dovute ad una scarsa inclinazione del davanzale in pietra (occorre una pendenza minima del 2%) o alla errata esecuzione del nodo di sigillatura della traversa inferiore.



Fig. 5.18 – si notino i baffi neri nella parte alta dell'edificio in corrispondenza delle finestre

Nel Nord Europa questi difetti sono parzialmente evitati grazie all'adozione di un davanzale in lamiera.

Questi davanzali in lamiera (alluminio verniciato o acciaio), presenti pressoché in tutte le case, sono costruiti come una piccola vasca con i bordi rialzati su tre lati (ripresi tra l'altro nei paragrafi precedenti): Il lato più lungo del davanzale posizionato verso la finestra viene applicato direttamente alla traversa inferiore del telaio del serramento (in appoggio o in una fresata appositamente ricavata) in modo che l'acqua piovana, scendendo dall'infisso, venga fatta defluire completamente nel davanzale senza alcuna perdita (si vedano il disegno e la foto sotto riportati).

Lungo i fianchi il davanzale in lamiera presenta due bordi rialzati, che rimangono posizionati a filo della parete e svolgono 3 funzioni:

1. portano l'acqua della finestra oltre la facciata impedendo che possa deviare lungo i lati e formare i "baffi";
2. evitano infiltrazioni sotto l'intonaco;
3. raccolgono completamente l'acqua che scorre lungo le pareti laterali.

Questo tipo di davanzale è dunque la soluzione migliore in assoluto dal punto di vista funzionale, ma nel nostro Paese ha trovato applicazione solo nelle zone prossime al confine con l'Austria, mentre nelle altre regioni si continua a scegliere il davanzale in pietra privilegiando il punto di vista estetico; tuttavia il davanzale in lamiera attualmente sta acquisendo un certo interesse proprio nel contesto di un ripensamento generale della posa in opera del serramento in quanto rappresenta anche la soluzione più semplice, in grado di compensare eventuali difetti di impermeabilizzazione della traversa inferiore del telaio e controtelaio e, cosa non irrilevante, è anche la soluzione più economica.

Inoltre, poiché questo davanzale è molto leggero, viene direttamente incollato allo strato di isolamento inferiore senza alcun problema.



Fig. 5.19 – esempio di bancale in alluminio

Il davanzale in lamiera viene spesso adottato anche in fase di riqualificazione energetica delle vecchie case, quando si applica il cappotto termico. Dal momento che lo strato isolante aumenta lo spessore della parete esterna, i vecchi davanzali (che spesso sono passanti ed andrebbero comunque eliminati) risultano essere troppo corti e quindi devono essere sostituiti.

Una soluzione pratica ed efficace è quella di rimuoverli completamente e mettere al loro posto uno strato isolante di pari spessore (circa 3 cm), che arriva fin contro il telaio della finestra e garantisce la continuità del cappotto. Sopra questo isolante si mette il davanzale in lamiera che, avendo uno spessore molto contenuto, consente di mantenere le quote originali del piano del davanzale rispetto alla traversa del telaio; ovviamente deve essere di profondità adeguata in modo da portare l'acqua oltre la parete.

Questi elementi sono oggi facilmente reperibili con varie profondità in funzione dello spessore della parete e in vari colori per cui è facile trovare la soluzione adatta alle proprie necessità.

### 5.2.2.1 Fissaggio ed isolamento del davanzale in pietra

Dopo la posa del controtelaio si deve verificare che tra la quota del filo esterno del muro e la quota cui è stata posizionata la traversa inferiore della finestra o della portafinestra rimanga un sufficiente dislivello in modo che i marmi e/o le soglie abbiano la possibilità di essere posati con una pendenza minima del 2% in modo da favorire lo sgrondo dell'acqua.

Il davanzale esterno, quando è in pietra, viene posato a ridosso della traversa inferiore del controtelaio prima della posa del serramento.

Per fare in modo che il lavoro del marmista non riduca l'efficienza di tutto il sistema è opportuno che il responsabile del cantiere verifichi almeno 3 punti:

- la corretta pendenza;
- che la base inferiore del marmo sia incollata per tutta la superficie e non a spot per evitare infiltrazioni di aria sotto il davanzale;
- che il rivestimento termico - nel caso di edifici con cappotto esterno – continui con uno spessore minimo di 2,5 cm anche sotto il davanzale ed arrivi fino alla traversa inferiore del controtelaio (parte in grigio scuro nel disegno).

In caso contrario si avranno delle dispersioni di calore sotto il controtelaio.

Ovviamente poiché lo strato isolante sia in grado di sostenere il marmo si dovrà utilizzare un materiale idoneo come ad esempio un pannello di Stiferite. Per incollare il marmo sul rivestimento isolante si può usare un polimero dedicato.

### 5.2.3 MESSA IN OPERA DEL DAVANZALE CON DUE SUPERFICI DRENANTI

Se in base alla situazione di posa oppure sulla base del davanzale scelto non fosse possibile eseguire il bancale (che rappresenta la prima superficie di scolo) resistente contro pioggia battente, allora è necessario predisporre una seconda superficie drenante impermeabile del sottobancale.

Questa deve accogliere l'acqua infiltrata e scolare l'acqua in maniera controllata verso l'esterno.

La seconda superficie drenante impermeabile può essere eseguita tramite:

- parapetto finito sigillato
- guaine a forma di vasca

Il rialzo laterale dell'impermeabilizzazione nei pressi delle spallette deve avere almeno par all'altezza del profilo di raccordo laterale. Si raccomanda di eseguire un rialzo di almeno 6 cm, se tecnicamente realizzabile.



Fig. 5.20 – seconda superficie impermeabile del parapetto trattato finito



Fig. 5.21 – a sinistra: profilo per l’intonaco come preparazione per montaggio del davanzale con una seconda superficie drenate; a destra: successivamente con davanzale in pietra infilato e montato. Si noti inoltre la fresatura sul bancale in modo da favorire il deflusso delle acque verso l’esterno.



Fig. 5.22 – seconda superficie drenante, a forma di vasca, fissata al telaio della finestra tramite guaina e nastro adesivo. Sussiste in questo caso la possibilità di rialzare lateralmente la membrana sulla spalletta

#### 5.2.4 IL RACCORDO CON LA FINESTRA

I davanzali devono essere fissati e collegati in maniera impermeabile al profilo di raccordo della finestra per il davanzale. Devono essere usati nastri impermeabili precompressi o profili impermeabilizzanti idonei. Per il fissaggio possono essere usati solo connettori idonei e conformi al sistema di fissaggio scelto (p.e. viti in acciaio inossidabile).

Il raccordo del davanzale alla finestra deve avvenire in maniera tale che il rialzo posteriore del davanzale si congiunge tramite aggraffatura dietro la superficie drenante al telaio della finestra. Il raccordo è quindi protetto da intemperie dirette e aumenta la sicurezza contro l’infiltrazione d’acqua. Specialmente per finestre con rivestimento in alluminio questo congiungimento / arretramento dell’involucro è necessario. I rivestimenti in alluminio incluse le giunzioni di raccordo devono scolare sulla superficie drenante (si veda figura 5.20). Un montaggio senza innesto al telaio della finestra non è consigliabile, perché questo aumenta nella zona di raccordo la presenza di acqua e aumenta il rischio di infiltrazioni d’acqua. Se per la geometria della finestra non è possibile eseguire un raccordo diverso, devono essere presi dei provvedimenti come p.e. il fissaggio di un ulteriore protezione contro gli agenti atmosferici.



Fig. 5.23 – esecuzione con profilo contro la pioggia e protezione contro agenti atmosferici

### 5.2.5 IL RACCORDO DEI PROFILI GUIDA PER TAPPARELLE E FRANGISOLE

Il raccordo dei profili guida per tapparelle / frangisole deve essere predisposto in modo tale che lo scolo controllato dell'acqua avvenga proprio sul davanzale. Per questo motivo i profili guida si devono trovare in posizione arretrata rispetto al rialzo laterale oppure rispetto ai raccordi di chiusura laterale del davanzale.

Deve essere evitato un appoggio diretto dei profili sul davanzale; si consiglia una distanza di almeno 5mm tra il bordo inferiore del profilo e il davanzale. La distanza può variare in funzione al tipo di finestra oppure sistema di tapparelle / frangisole scelto.

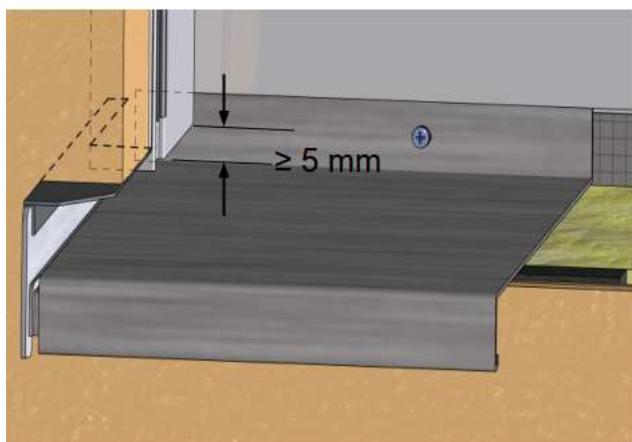


Fig. 5.24 – profilo guida per frangisole intonacato con raccordo laterale del davanzale ad intaglio retto. Tra il raccordo laterale del davanzale e il profilo guida del frangisole è necessaria una impermeabilizzazione tramite nastro sigillante butilico.

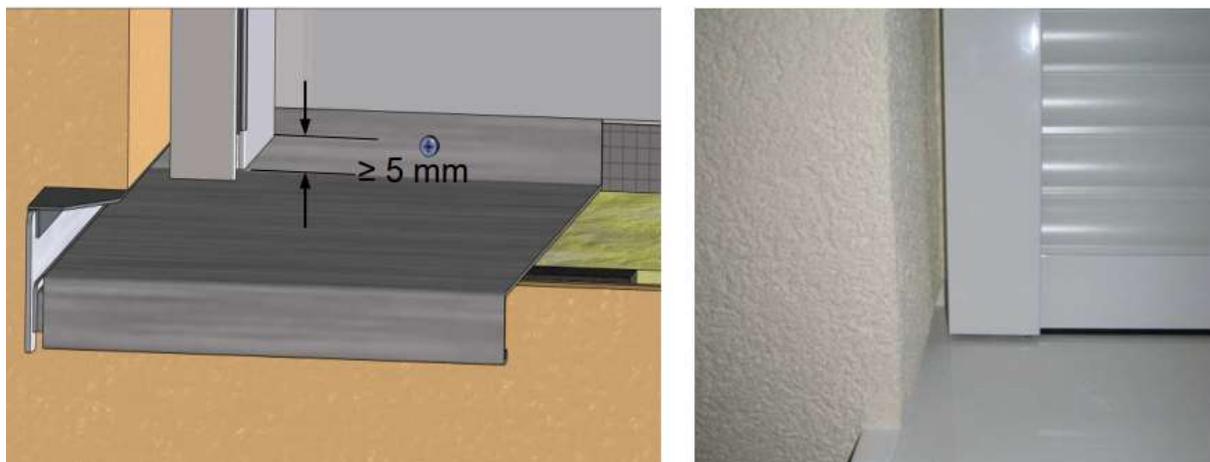


Fig. 5.25 – montaggio successivo / anteposto del profilo guida per tapparelle / frangisole.

### 5.2.6 CURA E MANUTENZIONE

La ditta esecutrice del raccordo al davanzale deve informare il committente sulle disposizioni riguardanti la cura e manutenzione, necessari per garantire la funzionalità nel tempo. Per una funzione durativa nel tempo del sistema di facciata, inclusi tutti gli elementi costruttivi inglobati ed applicati, così come i davanzali, devono essere sottoposti ad una pulizia, cura e manutenzione programmata da parte dell'utente o dell'impresa incaricata.

Ad intervalli regolari devono essere fatti come minimo dei controlli a vista. Si consiglia di pulire le superfici almeno una o due volte l'anno con sostanze liquide neutre.

Durante i lavori di pulizia devono essere controllati i raccordi in merito alla formazione di fessure o eventuali distacchi. In caso di presenza di fessure o distacchi deve essere presi dei provvedimenti di risanamento oppure deve essere contattata una ditta specializzata. Ulteriori indicazioni sono riportate all'interno dell'allegato dedicato all'Uso e Manutenzione del fabbricato.

### 5.3 ATTACCO BALCONE – PRINCIPI DI ESECUZIONE

Il nodo di attacco del balcone è senza dubbio un elemento su cui prestare attenzione già durante la progettazione dell'opera e poi nel corso della realizzazione stessa.

Fenomeni quali le infiltrazioni di acqua meteorica possono recare danni, spesso "occulti", agli elementi strutturali in legno, principalmente per effetto di migrazione prolungata di umidità verso gli strati interni del pacchetto costruttivo. In tali circostanze è frequente rilevare il problema quando ormai il fenomeno di degrado da parte di funghi è molto avanzato rendendo oneroso e complesso ripristinare la struttura oggetto di marcescenza. Al contrario il rilevamento precoce dell'infiltrazione avrebbe permesso un intervento relativamente semplice di nuova impermeabilizzazione in grado di ripristinare le condizioni iniziali di esercizio senza interventi sulle parti strutturali.

A prescindere dalla tecnologia costruttiva utilizzata, la durabilità di un edificio in legno può essere molto variabile: vi sono opere di ingegneria che rimangono in esercizio per tutta la vita nominale ed altre che invece presentano prematuramente situazioni critiche. Tra le due situazioni ci sono sottili ma importantissime differenze che di seguito cercheremo di analizzare in dettaglio.

In particolare, il nodo di attacco dei balconi è caratterizzato da molteplici dettagli costruttivi che hanno un impatto rilevante sul buon funzionamento in esercizio dell'opera stessa. A titolo esemplificativo si ricorda come i rivestimenti delle estremità delle solette, le colonne passanti, le soglie delle porte ed i collegamenti dei parapetti possano essere punti vulnerabili, soprattutto in presenza di accumulo di acqua piovana.



Fig. 5.26 - la corretta concezione e costruzione di un nodo “balcone” inizia con il creare un dislivello tra la sua soletta ed il solaio interno e nel realizzare una pendenza della soletta verso l’esterno del fabbricato.

Per sottolineare la delicatezza dell’esecuzione di questa parte costruttiva è sufficiente menzionare che indagini condotte in nord America su oltre 200 balconi hanno evidenziato anomalie in più del 40 % dei casi. Secondo tale studio la causa più frequente di infiltrazione d’acqua è l’esecuzione non corretta delle finiture perimetrali. Oltre a difetti di impermeabilizzazione, in molteplici casi, sono state rilevate carenze nel progetto strutturale.

### 5.3.1 LA CORRETTA CONCEZIONE DELLA STRUTTURA

Ad oggi, sul mercato, ci sono solo poche tipologie di membrane impermeabilizzanti che garantiscono la perfetta tenuta nel caso di prolungata permanenza di acqua su una superficie piana; al contrario vi sono numerose tipologie di membrane che funzionano molto bene in condizioni drenate cioè quando applicate su superfici in pendenza con conseguente un allontanamento dell’acqua.

La presenza di acqua stagnante sulla membrana può comportare nel tempo un’infiltrazione diffusa all’interno del pacchetto costruttivo anche solo per un minimo foro (impercettibile ad occhio nudo, causato a volte involontariamente dalle maestranze di cantiere). La foratura della membrana di protezione della struttura lignea può essere sufficiente ad inficiare durabilità dell’opera stessa.

Il primo strumento per proteggere la struttura del balcone è quindi garantire una pendenza sufficiente agli elementi orizzontali di piano, non demandando il compito ad altri componenti edilizi di protezione. Le normative tecniche nordamericane prescrivono in genere, per una corretta concezione del balcone, di adottare una pendenza minima del 2%. Normalmente si suggerisce che la struttura del balcone debba essere posizionata (come quota) in modo da garantire un piccolo salto di quota, così che il punto più alto del pavimento esterno si trovi ad essere più in basso rispetto al pavimento interno. Tale piccolo accorgimento aiuta a prevenire le infiltrazioni d’acqua in corrispondenza delle soglie delle porte.

Qualora il progetto architettonico lo consenta, si raccomanda sempre ai costruttori di proteggere gli elementi a sbalzo con coperture e/o elementi di sacrificio in modo che sia presente una prima linea di difesa dall’acqua piovana e che viene così allontanata dalle superfici di interesse. Trattamenti preservanti dell’ossatura portante in legno possono altresì contribuire a garantire maggior durabilità agli stessi tuttavia, è bene sottolineare, tali trattamenti non si sostituiscono ad una buona progettazione, sono efficaci nel breve periodo e non garantiscono nel medio-lungo periodo (in funzione del tipo di agenti preservanti) l’efficacia nei confronti degli agenti fungini. La miglior strategia deve rimanere quella di allontanare l’acqua dagli elementi in legno evitando i fenomeni di ristagno: il legno può bagnarsi ma deve potersi asciugare in fretta così da mantenere le proprie prestazioni meccaniche nel corso del tempo.

### 5.3.2 AZIONI PER PROTEGGERE LA STRUTTURA IN CORRISPONDENZA DEI FORI ARCHITETTONICI

Dopo la posa della struttura di legno, deve essere opportunamente considerata la tenuta all’acqua in corrispondenza dei fori architettonici. Tale protezione si esplicita attraverso la posa di membrane a protezione della struttura (Figura 5.23).

I fori architettonici, cioè le aperture nelle pareti in corrispondenza di portefinestre che si affacciano sul balcone, sono uno dei punti più frequenti dove si verificano fenomeni di marcescenza. È quindi sempre buona prassi ricordare le scossaline metalliche del nodo “porta-finestra” oltre lo stipite al fine di poter essere in continuità con la membrana (ad es. bituminosa) a protezione della struttura.



Fig. 5.27 - La scossalina della porta è in continuità con il sistema impermeabilizzante della parete

I difetti osservati in fase di diagnosi di costruzioni esistenti che hanno provocato infiltrazioni in corrispondenza delle porte sono stati principalmente i seguenti:

- Soglie non sigillate correttamente;
- Mancata continuità dell’impermeabilizzazione e/o sormonto delle guaine non corretto;
- Mancata continuità con tra le scossaline delle soglie e le scossaline delle pareti (p.e. risvolti e vuoti);

In relazione alle scossaline, in fase di montaggio, sono da evitare gli eventuali danneggiamenti dovuti al passaggio di carpentieri o altri operatori durante le fasi di cantiere (vedi esempio riportato in Figura 5.28).



Fig. 5.28 - Scossalina già danneggiata

### 5.3.3 PROTEGGERE IL PERIMETRO

Il passaggio successivo risiede nell’installare delle scossaline, preferibilmente metalliche per le parti esposte, sul perimetro del balcone. Occorre naturalmente effettuare la stessa operazione, di solito con scossaline bituminose, per qualsiasi montante che si innesti sul medesimo balcone. È importante che le giunzioni tra le membrane impermeabilizzanti siano ben sormontate e opportunamente sigillate, verificando che il sigillante fuoriesca dalle relative “cuciture” del manto a protezione della struttura. Al contempo le scossaline metalliche dovrebbero essere “rivestite” da guaine di tipo autoadesivo o da guaine di tipo liquido.

Naturalmente le guaine o le lattonerie perimetrali devono essere installate prima della barriera impermeabilizzante posta sulle pareti, in modo che la stessa barriera sormonti le guarnizioni. Per quanto riguarda poi le stesse membrane è sempre buona norma installarle nelle dimensioni più grandi possibili così da minimizzare le sovrapposizioni, le cuciture ed i relativi punti di debolezza.

Tra i difetti più comunemente incontrati si sono rilevate sovrapposizioni delle guaine non adeguatamente sigillate o non sormontate correttamente in relazione alla direzione del flusso dell'acqua. Si sono favorite così le infiltrazioni d'acqua tra gli strati impermeabilizzanti. In linea di principio i teli (e/o le guaine) devono essere installati, dal basso verso l'alto, effettuando sempre le sovrapposizioni in modo da favorire il deflusso dell'acqua evitando rischi di infiltrazione tra gli elementi posati.



Fig. 5.29 - Zone di marcescenza del legno possono essere localizzate in prossimità dei gocciolatoi; nella figura sopra riportata infatti non è visibile l'estremità del gocciolatoio stesso. Questo favorisce l'ingresso di acqua dietro l'intonaco

In tali ambiti – considerando la delicatezza del presente nodo costruttivo - il progettista dovrebbe essere definire particolari molto dettagliati indentificando con cura i vari elementi che compongono il pacchetto costruttivo. Per una maggiore intuibilità dei disegni in cantiere sono molto utili viste assonometriche del pacchetto costruttivo.

È fondamentale far sì che l'assemblaggio del balcone avvenga sulla base di apposite istruzioni operative. Limitare alla dicitura "i sistemi isolanti devono essere installati secondo le specifiche dei fornitori" solitamente non è sufficiente specie se le squadre di montaggio sono di tipo generico e non hanno subito una formazione di tipo "verticale" sul sistema di posa in oggetto.

Rimane altresì indispensabile che vi sia uno stretto controllo dell'esecuzione in cantiere da parte della DL e/o del Costruttore: disegni eccellenti possono anche non essere garanti di una posa ad opera corretta dei vari elementi che costituiscono il pacchetto costruttivo. È necessario che le squadre di montaggio siano costantemente aggiornate sulle modalità di posa delle impermeabilizzazioni dei balconi e che siano durante le applicazioni siano controllate da personale supervisore altamente qualificato.

#### 5.3.4 INSTALLARE GUAINA A PROTEZIONE E POSA DEI PROFILI A "T"

Se le scossaline, le guarnizioni, nonché la preparazione delle superfici sono eseguite correttamente, allora installare la guaina sulla superficie del balcone è probabilmente la parte più facile del lavoro. Massima attenzione deve essere comunque posta all'operato delle maestranze al fine di evitare che le stesse possano danneggiare lo strato a protezione della struttura del balcone stesso.

Prima di gettare l'eventuale massetto in calcestruzzo, lungo il perimetro esterno del balcone possono venir installati profili metallici a "T" aventi funzione di guida e bordo permanente.

Tali profili possono essere generalmente di due tipi:

- profili con fori di drenaggio, i cui fori devono essere lasciati liberi dal risvolto della guaina così da fare in modo che l'acqua convogliata verso il profilo possa drenare;

o più frequentemente:

- profili distanziati con spessori sopra la guaina cosicché l'acqua possa drenare attraverso lo spazio prodotto sotto i profili.

Creare punti di drenaggio (Fig. 5.31) è una condizione fondamentale al fine di evitare fenomeni di infiltrazione e/o di risalita di acqua con conseguente formazione di carie e marcescenza nel legno.



Fig. 5.30 – I profili a T vengono installati sul perimetro esterno, evitando di coprire con la guaina le contropiastre (annegate e predisposte per ricevere i montanti).

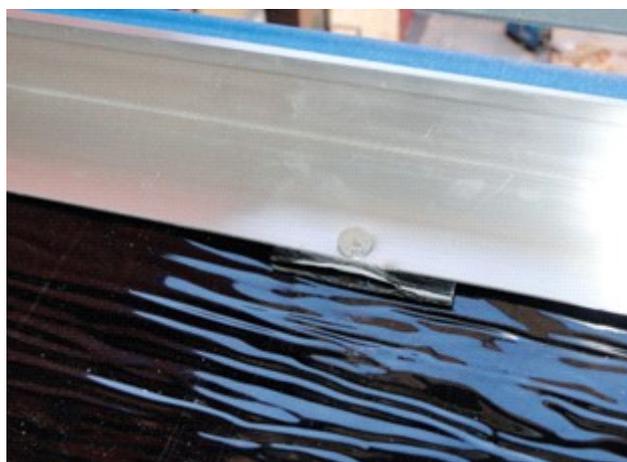


Fig. 5.31 – Un distanziatore (ad es. attraverso un fazzoletto di guaina autoadesiva ripiegato su se stesso) viene posizionato in corrispondenza di ogni fissaggio del profilo a T al fine di permettere il drenaggio e per aiutare a sigillare il foro dovuto alla presenza del collegamento.

### 5.3.5 POSA DEGLI ANCORAGGI AL PARAPETTO E GETTO DELLA SOLETTA IN CALCESTRUZZO

I montanti del parapetto possono risultare un punto di debolezza e contestualmente essere origine di fenomeni di marcescenza. Un primo accorgimento è sicuramente quello di fissare i montanti evitando di forare la guaina. E' importante poi, anche attraverso l'utilizzo di "rompigoccia", che l'acqua piovana possa defluire verso l'esterno senza che sia consentito l'ingresso di acqua in corrispondenza delle testate degli elementi lignei.

In relazione poi al getto di calcestruzzo, è sicuramente buona norma effettuare un'ispezione accurata della guaina prima di procedere con il getto stesso del massetto, sigillando eventualmente ogni presunto foro presente in superficie. Allo stesso modo, in questa fase, può essere senz'altro utile effettuare un test di "allagamento" (Figura 5.30).

La soletta in calcestruzzo non deve essere mai considerata come parte del "sistema di impermeabilizzazione" del balcone. Può invece svolgere un importante ruolo ausiliario nell'allontanare l'acqua dalla superficie del balcone medesimo proteggendo al contempo la guaina e le guarnizioni (naturalmente a patto che possieda la pendenza necessaria). L'impresa che esegue il getto deve curare la finitura del calcestruzzo così da garantire un deflusso delle acque piovane senza punti di ristagno (Figura 5.33).

Il controllo di qualità sul calcestruzzo dovrebbe anche essere inteso a minimizzare la fessurazione dello stesso così da impedire il più possibile che l'acqua possa raggiungere lo strato impermeabile sottostante. A tal proposito si consiglia l'utilizzo di giunti di dilatazione che limitino le fessurazioni del calcestruzzo (a vantaggio della durabilità e dell'estetica del manufatto).

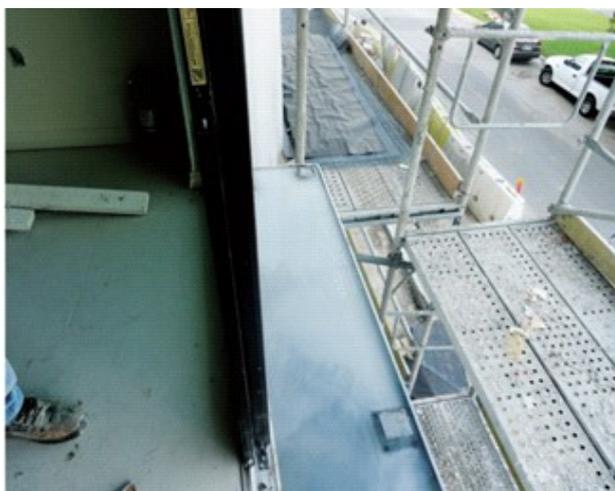


Fig. 5.32 – Il balcone è predisposto per la prova di allagamento



Fig. 5.33– Il getto di calcestruzzo è realizzato con attenzione alla rasatura per assicurare una corretta pendenza. Possono essere posti nel calcestruzzo fresco giunti di dilatazione per limitare le fessure da ritiro nella soletta.

### 5.3.6 ULTERIORI CONSIDERAZIONI

Il nodo di attacco del balcone è forse uno dei nodi tecnologicamente più delicati. In tale ambito, al fine di evitare nel tempo il rischio di decadimento delle proprietà meccaniche della struttura lignea, è fondamentale definire particolari costruttivi dettagliati e facilmente comprensibili dalle squadre di posa, nonché garantire un controllo costante sull'opera. In termini generali una realizzazione a regola d'arte di un balcone dovrebbe prevedere:

- Una corretta pendenza dell'ossatura lignea che non sia a in continuità con il solaio dell'edificio
- La realizzazione accurata delle guarnizioni e delle giunzioni in tutti i punti dove è presente una soluzione di continuità tra gli elementi di protezione;
- Una efficace impermeabilizzare del perimetro del balcone, creando gli opportuni risvolti e gocciolatoi al fine di evitare fenomeni di risalita dell'acqua.
- Il drenaggio completo dell'acqua meteorica dalla superficie del balcone in modo da allontanarla dalla superficie dello stesso evitando del tutto il ristagno;
- Una accurata rasatura del getto di calcestruzzo che assicuri la corretta pendenza e limiti la fessurazione del calcestruzzo.

## 5.4 COPERTURE PIANE

La progettazione di un qualsiasi pacchetto costruttivo riguarda l'analisi dei flussi termici e di vapore in entrambe le direzioni (sia verso l'interno del fabbricato che verso l'esterno dello stesso).

In termini altrettanto generale possiamo scindere tre tipologie di coperture:

- Copertura "calda";
- Copertura "fredda";
- "Invertita"

### 5.4.1 TETTO PIANO "CALDO"

All'interno di un tetto piano "caldo" lo strato isolante si trova al sopra della struttura; entro tale tipologia la membrana che funge da impermeabilizzante si trova normalmente (in ragione di eventuali condense interstiziali) al di sopra dello strato isolante; la membrana di freno al vapore al contrario si trova interposta tra struttura portante e isolante. Tale soluzione risulta ad oggi quella maggiormente utilizzata nella realizzazione di coperture piane.

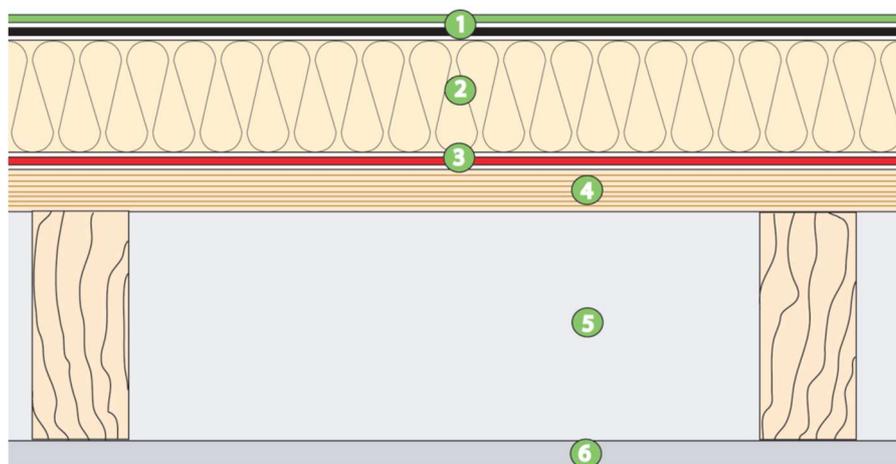


Fig. 5.34 -. Copertura piana "calda"

#### Legenda

1. Membrana impermeabilizzante
2. Isolante
3. Membrana di controllo al vapore
4. Elemento strutturale (ad es. pannello in compensato)
5. Controsoffitto
6. Cartongesso (ad es)
7. Orditura strutturale

## 5.4.2 TETTO FREDDO

Tale tipologia di copertura è impiegata normalmente per piccole coperture; generalmente tale tipologia di pacchetto non viene considerata nei processi di realizzazione di coperture piane in quanto il rischio di condensa interstiziale deve essere accuratamente valutato dal termotecnico incaricato. Una stratigrafia “tipo” di copertura fredda è riportata in figura 5.33.

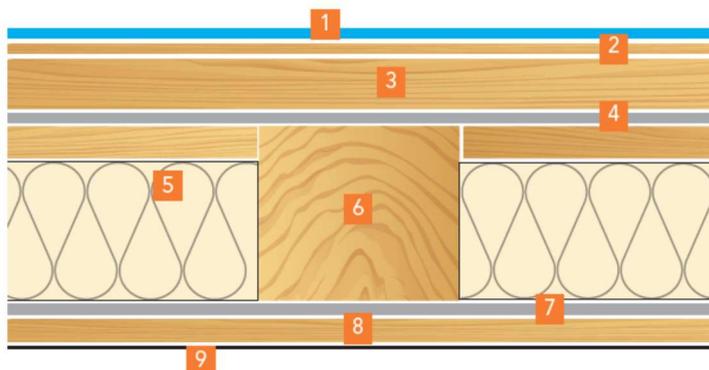


Fig. 5.35 - Copertura fredda

### Legenda

1. Membrana impermeabilizzante
2. Elemento strutturale (ad es. pannello in compensato)
3. Ventilazione (minimo 50 mm)
4. Membrana traspirante
5. Isolante
6. Orditura strutturale
7. Membrana freno vapore
8. Ventilazione 25 mm
9. Rivestimento (ad es. cartongesso)

## 5.4.3 TETTO “INVERTITO”

All’interno di un tetto “invertito” lo strato isolante non solo si trova sopra la parte strutturale, ma anche al di quella deputata all’impermeabilizzazione. Entro il presente caso non risulta essere cogente l’adozione di una membrana freno vapore e la presente soluzione ingegneristica è ampiamente utilizzata nella realizzazione di ospedali, condomini e alberghi. Vista la particolare conformazione del pacchetto risulta essere particolarmente adatto per tutte quegli spazi che risultano fruibili e calpestabili. A tal proposito si precisa come l’isolante debba essere caratterizzato da una densità sufficientemente elevata a sostenere il passaggio dei camminamenti. Una stratigrafia tipo di struttura rovescia o invertita è riportata all’interno della fig. 5.36.

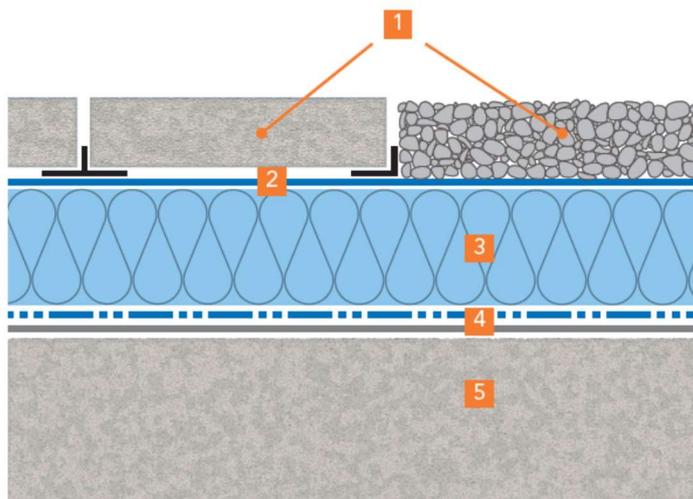


Fig. 5.36 -. Copertura invertita

## Legenda

1. Elemento "a calpestio"
2. Membrana impermeabile
3. Isolante (ad es. poliuretano estruso)
4. Sistema impermeabilizzante
5. Elementi strutturali (ad es. calcestruzzo)

#### 5.4.4 LE REGOLE PER UNA CORRETTA REALIZZAZIONE DI UNA COPERTURA PIANA

Bisogna sottolineare subito che l'impermeabilizzazione (o tenuta all'acqua) è l'aspetto più importante in assoluto per una copertura piana e va garantita sempre e comunque. Il posatore e la direzione lavori hanno pertanto una responsabilità molto grande sul corretto funzionamento e sulla durata nel tempo.

Premesso ciò è necessario chiarire che l'analisi di una stratigrafia per un tetto piano è tutt'altro che semplice e richiede conoscenze approfondite di fisica tecnica nonché la capacità di padroneggiare software specifici.

Il problema risiede nella errata gestione del vapore interno all'abitazione che durante la stagione invernale migra verso l'esterno dove la pressione parziale è minore. La verifica di Glaser richiede, tra le altre cose, che il movimento del vapore avvenga solo ed unicamente per diffusione ovvero "poco vapore in molto tempo". Affinché ciò avvenga è naturalmente necessario che la tenuta all'aria sia perfetta ovvero che le membrane verso il lato caldo siano nastrate correttamente.

Cosa succede nei punti di discontinuità? Il vapore si sposta per convezione ovvero "molto vapore in poco tempo" e questa extra-quantità una volta arrivata negli strati esterni più freddi condensa si trasforma in acqua. In questa nuova forma non è più in grado di tornare indietro e passare la membrana di tenuta e si accumula andando ad aumentare l'umidità nell'isolante e nel legno eventualmente presente nel pacchetto (travi strutturali, morali di contenimento, etc...).

Durante l'estate cosa succede?

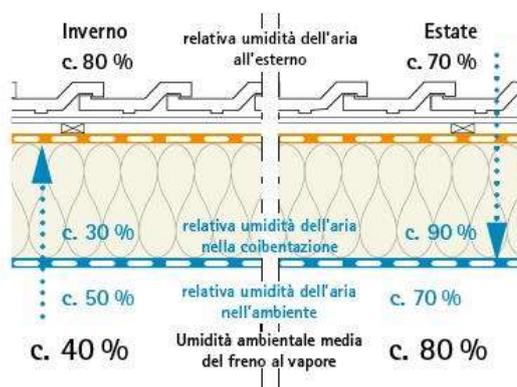


Fig. 5.37 - Schema della diffusione del vapore inverno/estate

Durante l'estate il calore esterno favorisce il cosiddetto meccanismo di diffusione inversa ovvero spinge il vapore dall'esterno verso l'interno permettendo così il riassorbimento (Fig. 5.37). Tutto ciò non è però possibile se la tenuta all'aria è realizzata per mezzo di una barriera vapore ( $S_d \geq 100$  m).

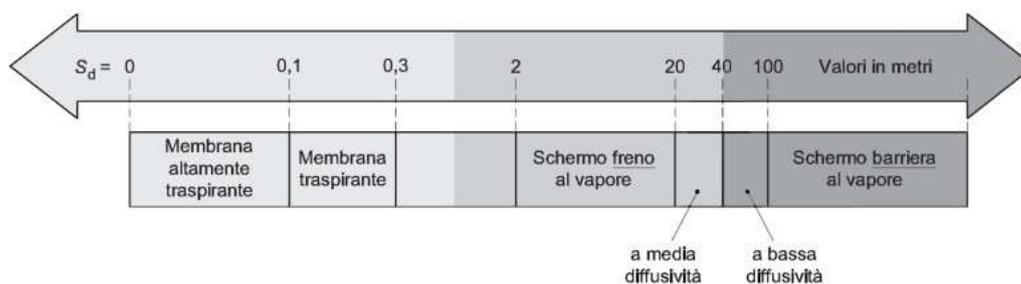


Fig. 5.38 - Caratteristica della membrana in funzione del valore di  $S_d$  (Fonte: UNI 11470:2015)

Diventa importante quindi la scelta opportuna delle membrane che devono avere la capacità di frenare il vapore durante la stagione invernale per poi lasciarlo passare quando le temperature esterne aumentano. Fortunatamente il mercato offre da qualche anno teli con queste caratteristiche ovvero dotati di valore  $S_d$  variabile.

Il loro dimensionamento e l'analisi di una stratigrafia che le prevede non è semplice e richiede l'utilizzo di software in grado di operare in regime dinamico e non stazionario. In questi casi è molto importante definire correttamente le condizioni al contorno ed i criteri da utilizzare per dichiarare la corretta funzionalità nel tempo del pacchetto.

Il dimensionamento della membrana è solo il primo passo però: la corretta messa in opera affinché la tenuta all'aria sia perfetta è importante almeno quanto il calcolo e forse ancora di più. Si consiglia pertanto vivamente di fare un Blower Door Test di tenuta all'aria prima della posa dello strato isolante e di accertare l'assenza di perdite per mezzo del generatore di fumo.

A tal proposito si riporta come a seguito di un summit internazionale "Conservazione del legno e fisica tecnica" tenutosi a Lipsia il 10/11 febbraio 2011 sul tema: "Tetti piani non ventilati in legno" sono state identificati i principi base al fine di garantire una corretta realizzazione dell'opera. Di seguito vengono riportate al fine di una loro condivisione presso gli operatori di settore:

1. L'installazione di barriere vapore ( $S_d \geq 100$  m) su strutture impermeabili che danno verso l'esterno non è più conforme alle regole del buon costruire. Queste membrane impediscono che durante l'estate si attivi il meccanismo della "diffusione inversa", necessaria per asciugare l'umidità invernale creata dal trasporto di vapore per convezione causato da seppure debolissime ma inevitabili perdite d'aria.

2. Ha una pendenza  $\geq 3\%$  in configurazione “indeformata” o  $\geq 2\%$  in configurazione “deformata” sotto carico; è di colore scuro (assorbimento di radiazioni  $\geq 80\%$ ) senza ombreggiamenti; non ha nessuno strato di copertura (ghiaia, tetto verde, rivestimento terrazzato) ma una barriera vapore variabile all’umidità (lato interno); nessuna cavità incontrollabile sul lato freddo dello strato isolante e una perfetta tenuta d’aria testata; una umidità degli elementi portanti incluso il tavolato rilevata prima della chiusura ( $u \leq 15\% \pm 3\%$ ) o rivestimenti in legno ( $u \leq 12\% \pm 3\text{ M-}\%$ ). Questi valori vanno rilevati con cura ed opportunamente documentati;
3. Calcolo secondo Glaser: la verifica secondo il metodo Glaser sulla base delle ipotesi di sola diffusione è valida solo per materiali non riflettenti, tetti piani privi di ombreggiamenti e senza strati di rivestimento. In questi casi deve essere tenuto un margine sulla quantità di essiccazione di almeno  $250\text{ g/m}^2$ .
4. Simulazioni termoigrometriche: Simulazioni specifiche secondo EN 15026 sono richieste se anche una sola delle condizioni riportata al p.to 2 non è rispettata e quindi la verifica secondo Glaser non è ammessa.
5. In tale contesto si deve tener conto in particolare di quanto segue:
  - o Ombreggiamento delle aree del tetto causato dalla morfologia del terreno, edifici, sovrastrutture (Collettori solari, vani ascensore o simili)
  - o Strati superiori all’impermeabilizzazione con o senza isolamento aggiuntivo
  - o Ingresso vapore per convezione a causa della non perfetta tenuta all’aria dell’involucro
6. L’influenza di rivestimenti in ghiaia e sottofondi verdi su tetti piani non ventilati con coibentazione tra i travetti è ancora oggetto di ricerca. Attualmente, i tetti piani con strati di copertura sono verificabili a favore di sicurezza solo se sulla parte superiore del rivestimento è previsto un isolamento aggiuntivo (ad es. isolante in pendenza). Gli spessori di isolamento necessari possono essere dimensionati solo mediante simulazione termoigrometrica. Le coperture con sistemi di costruzione a strati non richiedono verifiche specifiche solo se almeno l’80% dello spessore dell’isolamento è disposto sopra la struttura in legno.

## 5.5 SIGILLATURA DEI SANITARI

Le zone dell’edificio considerate “umide” hanno bisogno di una scrupolosa attenzione affinché non accadano sgradevoli inconvenienti dovute ad infiltrazioni di acqua all’interno del pacchetto costruttivo.

E’ quindi necessario definire un sistema efficace di impermeabilizzazione che possa tenere conto di periodici (ma anche frequenti) aumenti di umidità relativa dell’aria. Il primo strumento di difesa della struttura (sia questa realizzata in laterizio, legno o qualsiasi altro materiale) è avere una adeguata ventilazione dello stesso locale a seguito di un suo utilizzo (come ad es. aprire le finestre a seguito della doccia).

Di seguito, per immagini (riportate a titolo di esempio e in via non esaustiva circa le casistiche che possono essere adottate), vengono identificate le principali attività fronte la corretta realizzazione di tali locali considerati come “umidi”. Nel presente caso si farà riferimento ad un generico locale bagno.



Fig. 5.39 – Step 1: Distribuzione impianto



Fig. 5.40 - Step 2 – Posa massetti



Fig. 5.41 – chiusura con cartongessi

Una volta posizionato il piatto doccia e la posa dei sanitari dovrà quindi seguire la fase di sigillatura/impermeabilizzazione sia del pavimento che di tutte le zone di possibile infiltrazione d'acqua.



La doccia dovrà (ad esempio) essere impermeabilizzata con guaina liquida in più mani;

Fig. 5.42 – Impermeabilizzazione doccia

Tutti i gruppi miscelatori a parete dovranno essere sigillati con collari di supporto impermeabilizzanti o tramite silicone, evitando così possibili infiltrazioni in prossimità degli stessi.



Fig. 5.43 – Impermeabilizzazione miscelatori doccia

È possibile l'utilizzo di profili che evitano infiltrazioni di acqua tra il muro e il piatto della doccia o la vasca.



Fig. 5.44 – Profilo rompigoccia (doccia)



Fig. 5.45 – Profilo rompigoccia (vasca)

Segue la fase di chiusura con rivestimento di tipo ceramico; in prossimità dei miscelatori è bene prevedere il taglio più largo della piastrella in modo da poter posare la rosetta e il silicone stesso.

Infine sempre in relazione all'argomento si ritiene utile riportare ulteriori note:

- 1- Qualora si utilizzino più elementi che possono costituire un "sistema di impermeabilizzazione", è necessario che gli stessi elementi vengano forniti dal solo soggetto.
- 2- Lasciare le squadre di montaggio con le sole istruzioni di posa del fornitore degli elementi di impermeabilizzazione, si è verificato non essere sufficiente per tenuta della struttura. Diviene quindi necessario provvedere ad una formazione mirata del personale; congiuntamente la Direzione Lavori – entro il presente 'particolare costruttivo –

dovrà svolgere un'attenta sorveglianza sull'operato delle squadre di montaggio; tale azione è ancor più importante qualora intervengano in cantiere soggetti diversi che operano in assenza di un coordinamento (ad es. la prima impresa posa la struttura portante in legno dell'opera, mentre la seconda è deputata alla posa della parte impiantistica, di impermeabilizzazione e di finiture in genere).

- 3- Ogni membrana (il presente caso è naturalmente estendibile a qualsiasi altro particolare considerato) deve essere indipendente nei processi di deflusso delle acque.
- 4- Attenzione a creare "trappole di umidità" che possono portare all'interno del pacchetto di situazioni anomale con conseguente formazione di condensa; indispensabile garantire una ventilazione dei locali, identificando chiaramente tale aspetto all'interno del manuale di uso e manutenzione rilasciato alla committenza.

## 5.6 CAMINI E CANNE FUMARIE

Sebbene vi sia una grossa esperienza in relazione alla corretta posa del camino e relativa canna fumaria, è possibile ancora oggi osservare realizzazioni non conformi, complice anche una moltitudine di norme tecniche, leggi e decreti che disciplinano il settore. Il presente manuale è pensato per facilitare le procedure di installazione, posa, manutenzione e controllo delle canne fumarie, rimandando ad altri testi di approfondimento ulteriori nozioni dedicate al tema.

Una cattiva installazione della canna fumaria è infatti la prima causa di innesco di incendio all'interno di una copertura realizzata con elementi portanti in legno. Cause che possono portare ad un innesco di incendio sono riportate in via esemplificativa nelle immagini seguenti:



Fuliggine (creosoto)  
Mancanza di pulizia



Per contatto camino materiale combustibile  
Inadeguatezza normativa tecnica  
(Costruzione non a regola d'arte)



Incendio esterno al camino dovuto alle scintille che si depositano su materiali portati dal vento o uccelli

Fig. 5.46a, 5.46b e 5.46c – posa dei camini e cause di incendio

Attualmente, i camini sono ancora intesi come “cavedi” formati da camicie sovrapposte in cls, nei quali viene inserito, alle volte, un tubo senza isolamento (come mostrato nelle figure seguenti – fig. 5.47).



Fig. 5.47 - Esempi di camini previsti per combustibili solidi non eseguiti correttamente: ignorata completamente la distanza di sicurezza dai materiali combustibili

La corretta esecuzione del camino è quindi fondamentale per costruire una casa sicura; piccoli accorgimenti possono fare la differenza, in particolar modo nelle costruzioni in legno. Nel caso in cui il camino sia passante attraverso i solai in legno e/o la copertura, al fine di salvaguardare la sicurezza da rischi o pericoli di incendio delle strutture lignee, è necessario scegliere soluzioni tecnologiche adeguate nonché l'impiego esclusivo di materiali marcati CE.

Inoltre per tutti i nuovi camini, quelli sottoposti a modifiche e per quelli da risanare, deve essere sempre predisposto un progetto:

- Progetto/dimensionamento del camino, definito e calcolato secondo quanto previsto dal DM.37/08, per le canne fumarie collettive ramificate e per tutti gli impianti a gas oltre i 50 kW, il progetto è redatto da un tecnico abilitato iscritto al collegio o albo professionale.
- Per tutti gli altri impianti il progetto può essere redatto in alternativa dal tecnico abilitato, direttamente dal responsabile tecnico della ditta installatrice, sempre secondo quanto previsto dal DM. 37/08.

Un camino può essere costruito con soluzioni differenti, adattandosi alla casistica del cantiere.

- Sistema Camino: camino installato utilizzando una combinazione di componenti compatibili (tubo interno, isolante, involucro esterno, camicia, ecc...), fabbricati o specificati da un solo fabbricante, marcati CE secondo la specifica norma tecnica applicabile, e la cui responsabilità circa le prestazioni del prodotto (in particolare la distanza da materiale combustibile) riguardante l'intero sistema camino, ricade principalmente sotto il fabbricante medesimo.
- Camino composito: camino installato o costruito in sito utilizzando una combinazione di componenti compatibili quali, tubo interno (parete direttamente a contatto con i fumi), eventuale isolamento e involucro (camicia) esterno che possono essere forniti da produttori diversi o dallo stesso produttore. La responsabilità dell'individuazione della prestazione di prodotto dell'insieme degli elementi (in particolare la distanza dai materiali combustibili) ricade principalmente sotto la responsabilità del tecnico che ha eseguito il calcolo secondo le norme UNI EN 15287-1/2.
- Intubamento (tipo di camino composito): Operazione di inserimento, di uno specifico condotto, in un cavedio esistente (anche se di nuova fabbricazione) di materiali non combustibili, libero e per uso esclusivo. Il condotto per intubamento deve essere specificatamente dichiarato idoneo e marcato CE, e deve essere libero di dilatare. Per caldaie a condensazione al di sotto dei 35 kW a gas si devono usare tubi in acciaio inox o sintetici (PPS) solo se marcati CE, oltre i 35 kW a condensazione il condotto deve in ogni caso essere incombustibile. Il calcolo deve essere eseguito secondo le norme UNI EN 15287-1/2

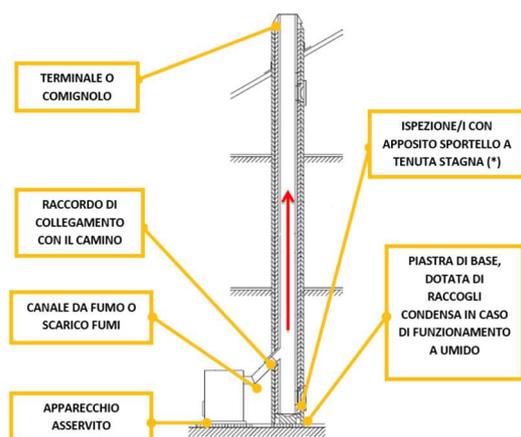


Fig. 5.48 - Schema composizione camino "Tratto dalla UNI EN 1443:2005"

Il canale da fumo è il tratto di tubazione che collega l'apparecchio al camino. In assenza di indicazione fornite dal fabbricante o del calcolo preliminare secondo UNI EN 13384-1 occorre tener presente le seguenti indicazioni di base:

- devono essere coibentati, se esterni o passanti in locali da non riscaldare (secondo UNI 10683)
- devono consentire dilatazioni termiche di esercizio;
- non devono avere tratti in contropendenza (secondo UNI 10683);
- devono essere installati in modo da limitare la formazione di condensa ed evitarne la fuoriuscita in corrispondenza delle giunzioni
- devono essere posizionati ad una distanza dai materiali combustibili non minore a quella indicata nella designazione di prodotto
- non devono essere costituiti da tubi metallici flessibili (secondo UNI 10683);
- devono essere ispezionabili e smontabili.

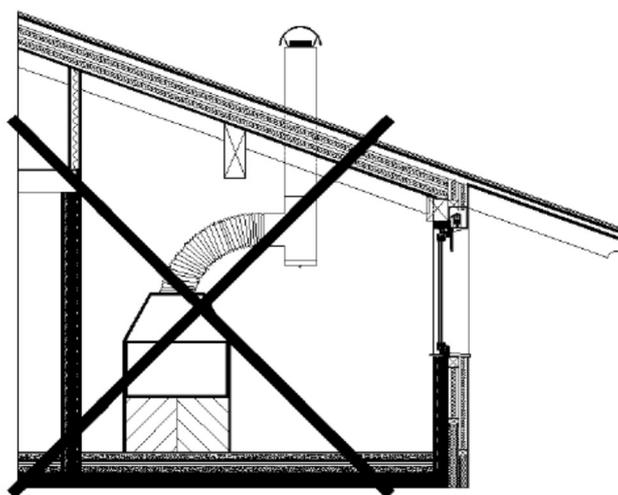


Fig. 5.49 - non utilizzare tubo flessibile di raccordo

### 5.6.1 DISTANZA DAI MATERIALI COMBUSTIBILI

Il camino deve rispettare una determinata distanza dai materiali combustibili (mobili, pavimenti in legno, passaggio tetto, ecc): essa può variare da zero a diversi centimetri (indicata da una lettera G – quale resistenza alla fuliggine – e seguita da due numeri che indicano la distanza in mm da rispettare in presenza di materiali combustibili). Nel caso di un Sistema Camino la distanza tra camino e materiale combustibile è indicata sul certificato dato dal produttore del camino stesso (si veda la “designazione” trattata di seguito). Nell’eventualità si installasse un Camino Composito (è il caso di materiale non certificato a Sistema o intubamento di una canna esistente) la distanza dal materiale combustibile deve essere calcolata secondo le UNI EN 15287-1/2.

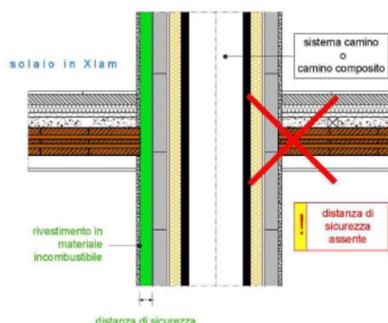


Fig. 5.50 - esempio di attraversamento solaio con distanza di sicurezza assente

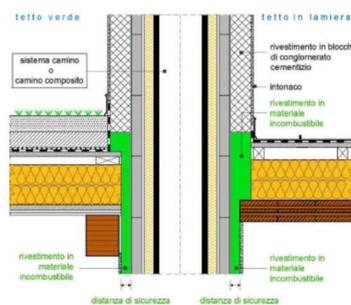


Fig. 5.51 - Esempio corretto di attraversamento copertura

Il camino deve essere posto in modo centrato all’interno della camicia; non è ammissibile che il tubo sia spostato su un lato. Tale prescrizione vale anche per gli impianti a combustibile gassoso e liquido (come da fig. 5.52).



Fig. 5.52 – Passaggio camino in struttura a pannelli portanti

Nella figura seguente (fig. 5.53) si noti come la protezione del legno avvenga attraverso il posizionamento di due lastre in fibrogesso (Euroclasse di resistenza al fuoco A1): nella presente casistica inoltre il tubo viene fissato con appositi agganci per poter mantenere la posizione centrale rispetto al foro e quindi anche le opportune distanze dai materiali combustibili che lo circondano.



Fig. 5.53 – passaggio camino in struttura a pannelli portanti

Inoltre verso le due pareti in legno si preveda sempre una protezione al calore, attraverso la posa di pannelli in fibrogesso. Da segnalare, infine, che in occasione di canna fumaria verso l'esterno e per tutta la lunghezza del camino, si debba prevedere la presenza di un isolante non combustibile (ad es. lana di roccia) con Euroclasse di resistenza al fuoco A1 (vedi fig. 5.54).



Fig. 5.54 – posa di materiale isolante incombustibile in prossimità del passaggio del camino (vedi freccia nera) in sostituzione alla fibra di legno

## 5.6.2 SISTEMI INTUBATI

In questa sezione del testo, riporteremo brevemente alcune note di carattere generale, rimandando alla lettura di testi dedicati un approfondimento dedicato al tema. Innanzitutto si riporta nella figura seguente le indicazioni da tenere tra i condotti e il cavedio.

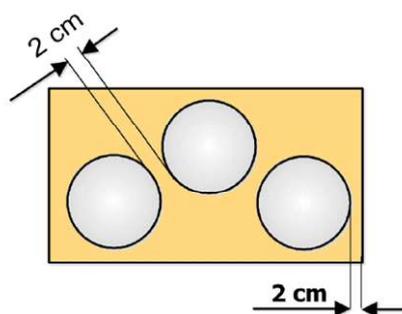


Fig. 5.55 – La distanza minima tra due o più condotti e tra i condotti e il cavedio è di almeno 2 cm. (In presenza di condotti in materiale non classificato secondo UNI EN 13501-1 è vietato l'intubamento multiplo.)

Spesso il condotto del camino può essere sfruttato per portare in copertura altri tipi di tubazioni come per esempio gli sfiati di cucine o bagni. In tal caso si preveda vano dedicato e separato dal condotto del camino. Tale prescrizione vale anche per gli impianti a combustibile gassoso e liquido.

Non è naturalmente concesso il passaggio tubi nel condotto del camino.



Fig. 5.56 – passaggio tubi (vedi freccia nera) nel passaggio camino; non permesso

### 5.6.3 IL COMIGNOLO E QUOTA DI SBOCCO

Il comignolo di un camino deve permettere la corretta evacuazione dei prodotti della combustione offrendo protezione da pioggia e neve, mantenendo un corretto tiraggio in presenza di vento proveniente da qualsiasi direzione.

Secondo la normativa vigente, non sono ammessi i comignoli con ausili meccanici di aspirazione, ad esempio comignoli eolici (pale girevoli come da Fig. 5.57).



Fig. 5.57– Parte terminale camino con pale girevoli

Secondo la normativa UNI 10683 lo scarico dei prodotti da combustione deve avvenire a tetto e vieta per tutti gli impianti a combustione solida (ad es. legna o pellet) lo scarico a parete.

In riferimento all'argomento e a titolo esemplificativo vengono riportate varie possibilità costruttive della parte terminale del camino.



Fig. 5.58 (a; b; c): esempi di realizzazioni di comignoli

Per quanto riguarda i requisiti circa le distanze di sicurezza si rimanda a quanto indicato nella UNI 7129-3.

#### 5.6.4 CONTATTO UMANO ACCIDENTALE

Laddove ci sia il rischio di contatto umano accidentale e per garantire la sicurezza di impiego del camino/canale da fumo, l'installatore deve verificare che la temperatura della parete esterna di contatto non superi i valori riportati nella seguente tabella della norma UNI TS 11278.

Materiale della parete esterna	Massimi valori di temperatura (riferiti alla temperatura ambiente a 20°C)
Metallo nudo	70
Metallo verniciato	80
Metallo smaltato	86
Metallo ricoperto da materiale plastico	90

Tab. 5.59 - Temperatura massima della parete esterna.

Nel caso in cui suddette temperature della parete esterna vengano superate, l'installatore dovrà proteggere opportunamente la superficie esterna di contatto rispettando le indicazioni eventualmente riportate nel libretto del fabbricante o mediante idonei schermi/strutture di protezione delle parti pericolose. Per evitare il superamento di tali temperature è opportuno e vivamente consigliato l'utilizzo di prodotto coibentato.

### 5.6.5 TENUTA ALL'ARIA E IMPERMEABILIZZAZIONI

Per gli edifici a basso consumo energetico, è fondamentale un involucro termico continuo con perfetta tenuta all'aria.

Ciò è possibile utilizzando camini con l'isolamento integrato, con l'aiuto di speciali elementi per il taglio termico da collocare in corrispondenza degli attraversamenti tetto o soletta, garantendo al contempo la tenuta all'aria desiderata e in ultimo facendo uso di sistemi di adduzione dell'aria comburente dall'esterno, senza dover effettuare fori nell'involucro isolante. Il comignolo dovrà essere ugualmente isolato in modo da garantire la continuità dello strato coibente dell'involucro.

La tenuta all'aria deve essere garantita lungo gli angoli del cartongesso ma anche e soprattutto nel passaggio attraverso il tetto.

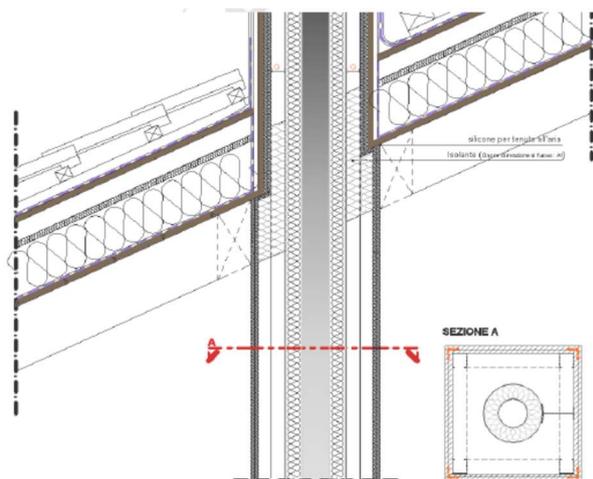


Fig. 5.60 – Tenuta all'aria in corrispondenza del camino (esempio)

Allo stesso modo è importante sigillare a regola d'arte le guaine e la lamiera sottotetto.



Fig. 5.61 – posa della guaina impermeabile (esempio)

Inoltre in senso generale è bene precisare che negli edifici ad alte prestazioni energetiche, la tenuta all'aria dell'involucro (assenza di fughe e spifferi), è importante tanto quanto l'isolamento termico. Permette di abbassare notevolmente i consumi estivi ed invernali, aumenta le prestazioni e i rendimenti degli impianti, migliora sensibilmente sia l'acustica sia il comfort di chi abita e vive l'edificio (nonché è garante delle prestazioni della stratigrafia in relazione alla condensa interstiziale). Inoltre, la tenuta all'aria dell'edificio è verificata e misurata in opera dai principali enti di certificazione italiani, tramite il test di tenuta a pressione (comunemente chiamato "Blower Door test").

Il risultato del test dipende dalla qualità della messa in opera di tutti gli elementi costruttivi, misurati contemporaneamente e simultaneamente. Durante la prova, salvo casi in cui dei difetti emergono in maniera evidente, non è possibile stabilire un'unica causa, o un'unica origine delle fughe d'aria. È quindi indispensabile che:

- Tutte le maestranze coinvolte nei lavori siano specializzate ed intervengano ognuna autonomamente e spontaneamente nel mantenere e nel ripristinare la tenuta all'aria dell'involucro edilizio;
- Chi esegue la struttura deve sigillare e nastrare tutte le giunzioni delle pareti opache;
- I serramentisti devono installare gli infissi in maniera corretta e con le idonee guarnizioni, sigillature o nastrature previste dal produttore, anche tra telaio e controtelaio;
- Tutti gli impiantisti (elettrico, idraulico, aeraulico), antennisti, fumisti, e tutti quelli che devono passare, attraversare, modificare l'involucro a tenuta dell'edificio sono tenuti a ripristinare perfettamente la tenuta all'aria che è stata interrotta da queste lavorazioni.

### 5.6.6 INSTALLAZIONI VIETATE

Di seguito si riporta un breve elenco delle installazioni vietate dalla normativa vigente:

- Lo scarico fumi a parete o senza camino (escluso quando espressamente autorizzato e regolamentato dalla legislazione vigente);
- Camini o tubi interni senza certificato CE o specifica Valutazione Tecnica Europea "ETA";
- Cavedio e rivestimenti interni realizzati in materiali combustibili;
- Camini con pressione positiva nell'edificio, escluso l'intubamento in pressione e intercapedine ventilata per caldaie a gas domestiche fino 35 kW;
- Utilizzo di materiali diversi da quelli indicati nel progetto salvo modifiche in corso d'opera, in ogni caso sono ammessi materiali di pari prestazione in possesso di marcatura CE o Valutazione Tecnica Europea "ETA";
- Danneggiamento dell'involucro esterno/cavedio;
- Utilizzo del cavedio o dell'involucro per altri usi, come il passaggio di cavi, tubi ecc.;
- Messa in funzione da parte della ditta installatrice senza il collaudo dello spazzacamino;
- Installazione dell'apparecchio, del generatore o del camino da parte di persone o ditte non in possesso dei requisiti richiesti dalla legislazione vigente (DM 37/08);
- Stufe e caldaie senza certificato CE o senza dimensionamento del fumista;

### 5.6.7 CONTROLLI FINALI DELL'INSTALLATORE DI IMPIANTI SANITARI E DEL FUMISTA

L'installatore di impianti termosantari e/o il fumista (autorizzati secondo quanto previsto dal DM 37/08) sono responsabili dell'installazione a regola d'arte dell'intero impianto, incluso il camino. Per eventuali parti di impianto preesistenti o laddove la posa sia stata eseguita da soggetti o ditte terze (p.es. muratore, fumista, installatore di impianti termosantari ecc.), l'installatore di impianti termosantari e/o il fumista dovranno integrare la propria dichiarazione di conformità con quelle rilasciate dalle stesse ditte installatrici, allegando la documentazione pervenuta previa valutazione del contenuto della medesima.

Prima che lo spazzacamino riceva la documentazione per il collaudo finale, l'installatore di impianti termosantari o il fumista devono controllare il proprio impianto.

Devono essere eseguite almeno le seguenti verifiche:

- Certificato di conformità della posa del camino (se questo è stato montato da altri soggetti, come per es. il muratore, un altro installatore di impianti termosantari o il fumista) ed i certificati CE o la Valutazione Tecnica Europea "ETA" di conformità dei materiali utilizzati
- Presenza e corretta compilazione della placca camino
- Attenta verifica della distanza da materiale combustibile come da designazione prodotto secondo norme di sistema (p.es. UNI EN 13063, UNI EN 1856 ecc...), oppure in assenza di essa verifica del calcolo redatto dall'installatore secondo UNI EN 15287

- Analisi di combustione prevista nello specifico (può essere considerata anche quella eseguita dalla ditta di manutenzione dell'apparecchio che ha eseguito una messa in funzione) e i valori dovranno essere confrontati con i dati tecnici dell'apparecchio e del camino
- Misurare il tiraggio camino alla potenza max. e min. (solo apparecchi in depressione)
- Controllare la tenuta dello scarico fumi ponendolo in pressione dall'apparecchio al comignolo, questo escluso (caldaie tipo C a tiraggio forzato)
- Installazione del canale da fumo/condotto di scarico secondo le disposizioni legislative e/o del produttore (p.es. per lunghezza, numero curve, pendenza ecc.)
- Sufficiente apporto d'aria comburente, per le caldaie a gas domestiche atmosferiche 6 cm<sup>2</sup>/Kw (min. 100 cm<sup>2</sup>) ed eventualmente misurare (per es. con il metodo 4 PA) o per centrali termiche secondo progetto
- Con stufe di combustibili solidi l'apertura di ventilazione viene indicata dal fabbricante dell'apparecchio o calcolata e prevista dal fumista secondo quanto previsto dalla UNI 10683
- Distanze e altezze del comignolo da ostacoli o dal tetto devono essere misurati per assicurarsi di essere fuori della zona di riflusso e di non inquinare abitazioni o locali con i gas di scarico, p.es. verifica visiva con fumogeni, in ogni caso le distanze dovranno rispettare quanto previsto dalle norme di installazione (p.es. UNI 7129, UNI 10683 ecc.)
- Per la prova di tenuta e la videoispezione del camino l'installatore di impianti termosantari e il fumista si possono avvalere anche di quella eseguita dallo spazzacamino di competenza, senza l'obbligo di eseguirne una propria.

#### 5.6.8 DOCUMENTAZIONE PER LO SPAZZACAMINO

Dopo l'installazione, ma prima della consegna dell'impianto al cliente si devono consegnare allo spazzacamino i seguenti documenti:

- Dichiarazione di conformità per la posa del camino redatto della ditta esecutrice (ai sensi del DM 37/08) con tutti gli allegati richiesti dalla legislazione vigente
- Certificato per i materiali utilizzati secondo quanto previsto dal Reg. UE n. 305/2011
- Qualora non si utilizzi prodotto certificato come sistema camino (es: UNI EN 13063, UNI EN 1856 ecc..) il calcolo della distanza da materiale combustibile secondo UNI EN 15287
- Scheda tecnica dell'apparecchio installato
- Analisi di combustione dell'apparecchio
- Tiraggio del camino alla potenza min. e max. (solo per camino in depressione)
- Prova di tenuta dello scarico fumi
- Scheda di controllo finale dell'installatore di impianti termosantari o del fumista

#### 5.6.9 COLLAUDO DELLO SPAZZACAMINO

Ogni camino deve essere collaudato dallo spazzacamino prima della messa in funzione dell'apparecchio, secondo il D.P.P. 13/11/2006 n. 62, art. 7. Solo il certificato di collaudo dello spazzacamino di competenza autorizza la ditta installatrice a consegnare l'impianto al proprio cliente e di metterlo in funzione definitivamente. La garanzia e la responsabilità, secondo il DM 37/08 rimane sempre della ditta che ha eseguito l'installazione dell'impianto/apparecchio.

Lo spazzacamino esegue i seguenti controlli:

- Tutta la documentazione da presentare per il collaudo dell'impianto
- Prova di tenuta del tubo interno del camino
- Videoispezione di tutto il percorso del camino
- Altezze e distanze minime del comignolo
- Posizioni, documenti e montaggio degli accessori obbligatori e utili
- Controllo di sicurezza di tutto l'impianto fumario

## 6 GESTIONE DEL CANTIERE PER LE OPERE DI INGEGNERIA IN LEGNO

### 6.1 GENERALITÀ

Il presente paragrafo vuole fornire delle indicazioni di carattere generale circa gli aspetti di gestione dei cantieri di opere di ingegneria in legno. Il cantiere infatti riveste un'importanza fondamentale non solo ai fini di garanzia della qualità del costruito, ma anche per quanto riguarda la gestione del materiale e tutti quei processi di mitigazione del rischio soprattutto in relazione alla sicurezza in caso di incendio e ai processi di degrado a carico di funghi.

E' altresì importante capire quali siano i fattori che in passato hanno causato criticità (nonché collassi totali o parziali) del processo di edificazione. A tal proposito si evidenzia come errori imputabili alla fase progettuale abbiano un diretto riflesso all'interno della fase di cantiere.

Distribuzione degli errori in fase progettuale	
Tipi di errore	Percentuale
Errori concettuali	34%
Analisi strutturale	34%
Disegni, particolari costruttivi e piani di lavoro	28%
Combinazione	4%
Tot.	100%

Tab.6.1 – Distribuzione degli errori in fase progettuale (estratto da Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber? – Lund University)

Sottolineiamo che le considerazioni seguenti possono essere estese per analogia a tutte le tipologie di materiale utilizzato.

Ad esempio:

- nelle opere in calcestruzzo è doveroso assicurare una vibrazione adeguata dei getti nonché garantire una corretta maturazione prima della rimozione dei casseri e dei puntelli. Una prematura rimozione degli elementi di puntellamento può causare insuccessi come quello descritto in fig. 6.2 in Virginia nel 1973 dove il crollo dell'opera si è propagato in maniera progressiva causando la morte di 15 carpentieri.



Fig. 6.2 – Collasso progressivo di un edificio multipiano in calcestruzzo armato dovuto alla rimozione prematura degli elementi di puntellamento – Virginia, 1973

Analoghe considerazioni valgono anche per le strutture in acciaio; qualora si tratti di strutture snelle, in via generale, è fondamentale evitare fenomeni di instabilità anche in fase transitoria di montaggio. Si sono verificati casi in cui strutture in acciaio sono collassate per instabilità del lembo compresso: a titolo di esempio in figura 6.3 è riportato il collasso di un ponte in acciaio in fase di montaggio.



Fig. 6.3 - Collasso di una partizione di elemento tridimensionale in acciaio – Koblenz 1971

## 6.2 OPERE IN LEGNO

Raramente nel recente passato si sono verificati crolli o dissesti (totali o parziali) di opere di ingegneria in legno. Gli errori che però hanno determinato un insuccesso non sono semplici da analizzare, allo stesso tempo si assiste a più fattori correlati tra loro, solo in alcuni casi sono imputabili ad un non corretto dimensionamento degli elementi strutturali.

Volendo schematizzare le possibili situazioni di rischio si possono individuare le seguenti cause di danno:

- Errata valutazione dei carichi in gioco;
- Inadeguata realizzazione dei collegamenti;
- Effetti derivanti da una non corretta impermeabilizzazione delle opere;
- Cattiva progettazione dei particolari costruttivi influenti sulla durabilità dell'opera;
- Inadeguata gestione del cantiere;
- Insufficienti performance dei materiali utilizzati.

È difficile trovare in letteratura una statistica completa circa questi aspetti ma si può comunque affermare che il dimensionamento e la corretta esecuzione dei collegamenti riveste sicuramente, nel nostro settore, un aspetto principe nel definire la sicurezza dell'opera.

In molti altri casi gli errori sono riconducibili ad una non-adequata considerazione degli effetti climatici prodotti dall'ambiente in cui il materiale "legno" viene posto. Il problema più frequente è rappresentato dalle fessurazioni perpendicolari alla fibratura (si accenna solo che non tutte le fessure hanno un effetto sulla stabilità dell'elemento e che devono essere oggetto di una attività di diagnostica per una loro effettiva valutazione).

Di seguito si riporta un esempio dove a fianco di un elemento di legno lamellare è stato posto un tubo dell'acqua calda che ha favorito l'insorgenza di fessure da ritiro per essiccazione (l'opera nel caso in questione è vista la lunghezza delle fessure e la loro profondità è stata oggetto di opere di consolidamento).

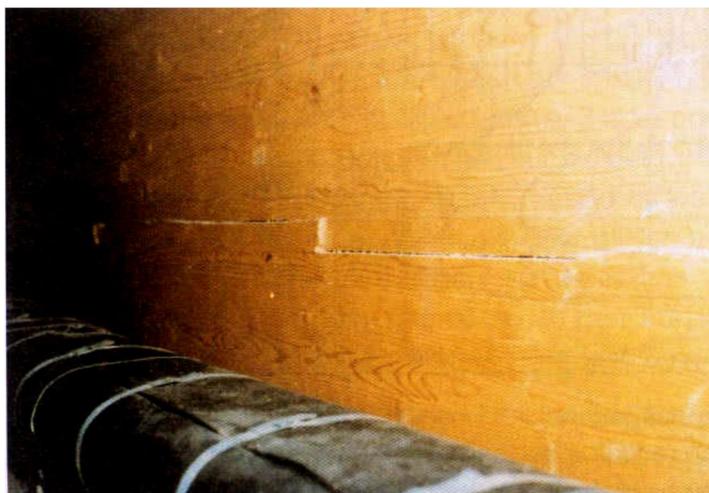


Fig. 6.4 – Fessure presenti su elemento in legno lamellare; il passaggio nell'immediata vicinanza del tubo dell'acqua calda ha prodotto un'essiccazione ulteriore con creazione di fessure vicino alla linea di colla.

Contrariamente a quanto si possa immaginare collapsi dovuti ad una scarsa qualità del materiale fornito sono piuttosto rari. A titolo di completezza si riporta un caso di cattiva realizzazione di elemento in legno lamellare con adesivo distribuito in modo non uniforme sul giunto a dita e con la presenza di una eccessiva nodosità in relazione alla regola di classificazione secondo la resistenza utilizzata.



Fig. 6.5 – Rottura di un elemento in legno lamellare dovuto ad una bassa qualità realizzativa del giunto a dita. La linea di rottura coincide con la presenza lungo il profilo dell'elemento di giunti a dita.

I codici di calcolo internazionali per il dimensionamento delle strutture (indipendentemente dal materiale strutturale impiegato) si basano genericamente su quella che può essere definita l'“affidabilità della struttura”. In altre parole e in senso strettamente statistico, la probabilità che si verifichi un collasso (sia questo totale o parziale) è nell'ordine  $10^{-6}$  per anno.

Allo stesso modo le cause che determinano l'instabilità di una struttura possono essere riassunte come segue:

- Circostanze particolarmente sfavorevoli quali ad esempio carichi da neve particolarmente alti legati ad un dimensionamento della struttura non sufficiente (ma comunque conforme alla normativa vigente). Tale circostanza viene amplificata qualora l'opera sia concepita dal lato architettonico in modo da favorire l'accumulo di neve in alcune porzioni della copertura.
- Condizioni impreviste, quali ad esempio esplosioni. In questo caso possono essere prese in considerazione accorgimenti progettuali al fine di contenere il crollo progressivo dell'opera.
- Errori grossolani derivanti una cattiva progettazione, produzione in stabilimento e realizzazione dell'opera. In questo caso possono essere prese in considerazione diversi fattori per ridurre il rischio che tale situazione possa verificarsi, come la formazione dei professionisti e delle imprese e controlli più severi sia in produzione che in cantiere.

### 6.2.1 BUONE PRATICHE DI CANTIERE

E' sicuramente vero che la maggioranza degli errori che si compiono all'interno del panorama edile generale, indipendentemente dalla tipologia costruttiva utilizzata (ad es. acciaio, muratura, cemento armato), si possono evitare se si conoscono meglio le peculiarità tecnologiche e ingegneristiche del materiale.

La pubblicazione “*Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber*” (richiamata sopra) schematizza così gli errori che possono intervenire nel processo di edificazione secondo il seguente ordine:

- Errori dovuti all'ignoranza: tutti i soggetti della filiera devono avere adeguata preparazione. Questo vale sia a livello di progettazione, produzione, cantiere, direzione lavori e collaudo. Al fine di evitare tale tipologia di errori, è fondamentale implementare la formazione, a tutti i livelli, per tutti gli attori della filiera.
- Errori dovuti a scarsa attenzione e negligenza: è importante che durante tutto il processo di edificazione vi siano soggetti deputati al controllo, quale ad es. la Direzione Lavori, che possa prendere visione delle operazioni che vengono svolte e verificare il grado di rispondenza delle opere al progetto.
- Errori “intenzionali”: in tal caso si tratta di errori in senso lato in quanto gli stessi sono attuati in modo consapevole con il fine di avere una maggiore redditività dalle opere cantierizzate.

E' da evidenziare che le tipologie di errori sopra menzionati, non possono e non devono essere risolti da un incremento dei fattori di sicurezza, come a volte prospettato all'interno della normativa nazionale. Non è infatti sovradimensionando gli elementi strutturali che si può garantire una corretta progettazione dell'opera (ad es. una struttura concepita con una scarsa cura verso la durabilità dell'opera rimarrà tale nonostante un sovradimensionamento delle sue parti strutturali).

E' altrettanto vero che non è possibile evitare completamente l'errore umano, ma allo stesso tempo è possibile incidere sulla sua frequenza agendo sulla formazione, sui controlli in accettazione in cantiere, sulla supervisione durante il montaggio e sul monitoraggio durante la vita della costruzione.

In tutto questo, è di primaria importanza che la formazione tenda a sensibilizzare i professionisti non solo sui temi legati all'ingegneria del legno, ma anche a quelli inerenti all'organizzazione del processo di edificazione dell'opera in tutte le sue fasi senza escludere ovviamente gli aspetti legati alla cantieristica e a quanto definito nei testi di tecnologia del legno. All'interno del paragrafo 6.2.1.1 vengono quindi riportati una serie di casistiche allo scopo di semplificare l'argomento e fornire al lettore una prima serie di dati elaborati in contesti internazionali.

### 6.2.2 QUANDO SI MANIFESTANO GLI ERRORI

Una ricerca eseguita dall'Università Lund (Eva Frühwald, Erik Serrano, Tomi Toratti, Arne Emilsson, Sven Thelandersson – 2007) ha inquadrato le cause che hanno poi portato a collassi totali o parziali delle opere, su un campione di 127 casi.

Cause di collasso dell'opera	Percentuale (%)
Carichi permanenti di progetto	41,5 %
Errate modalità di montaggio	14,1 %
Alterazioni delle condizioni di cantiere	12,5 %
Carichi accidentali di progetto	11,4 %
Errori di produzione in fabbrica	5,4 %
Sovraccarico	4,4 %
Errate modalità di fabbricazione	4,2 %
Prestazioni del materiale in legno	1,5 %
Altri errori	5,0 %

Tab.6.6 – distribuzione degli errori causa di insuccesso – 2007 Università di Lund

Riprendendo allo stesso modo, l'analisi condotta dall'Ateneo sopramenzionato è interessante vedere l'età della costruzione e il verificarsi del collasso (sia questo totale o parziale) dell'opera.

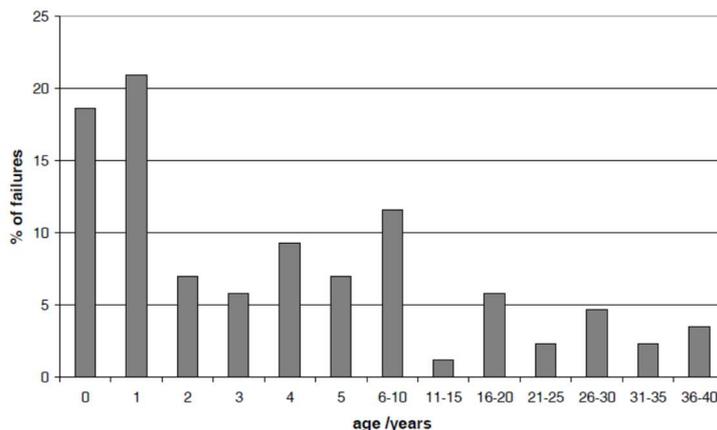


Fig. 6.7 – Correlazione tra “fenomeno di errore” e età dell’opera

In altre parole, e in relazione alla fig. 6.4, le percentuali si distribuiscono secondo il seguente modo in funzione del verificarsi dell’errore:

- Durante la costruzione 18.6%
- Durante i primi tre anni della costruzione 33.7%
- Dopo i primi tre anni della costruzione 47.7%

#### 6.2.2.1 UMIDITA’ E SITUAZIONI TRANSITORIE IN CANTIERE

È molto importante in un cantiere di un edificio in legno pensare ad una protezione adeguata delle strutture durante il montaggio, sia quotidianamente da eventi atmosferici improvvisi e inaspettati come temporali che possono capitare, sia in particolar modo nel caso in cui il cantiere debba subire dei fermi prolungati dovuti ad esempio ad eventi meteorologici (periodi di pioggia persistente) o di altra natura (ad esempio amministrativi o per cause di altra natura).

Nel primo caso occorre porre attenzione alla protezione soprattutto della testa di pareti o pilastri in legno, visto che le teste sono zone in cui l’assorbimento dell’acqua è maggiore. Una soluzione pratica da utilizzare è quella di prevedere una protezione con guaine traspiranti adeguatamente assicurate agli stessi elementi strutturali in modo da impedire in tutti i modi il possibile passaggio d’acqua, che possono essere facilmente posizionate e rimosse quotidianamente. La stessa soluzione va utilizzata anche per i solai, avendo cura però di togliere i teli per consentire l’asciugatura nelle giornate di sole.



Fig. 6.8 – Protezione delle teste delle pareti con guaine traspiranti durante il cantiere

In caso di periodi di fermo prolungato del cantiere occorre prevedere soluzioni leggermente più laboriose da mettere in opera ma tutto sommato semplici, economiche ed efficaci. Una soluzione è illustrata in Fig. 6.9, nella quale tutto il perimetro esterno dell’edificio è protetto con teli traspiranti di protezione all’acqua e persino i ponteggi sono ulteriormente protetti dall’acqua battente da un telo protettivo esterno. È necessario proteggere anche le aperture

realizzate per porte e finestre, qualora gli infissi non siano stati ancora installati, mediante soluzioni provvisorie ma efficaci che impediscano l'ingresso dell'acqua all'interno della costruzione, come nel caso di Fig. 6.10.



Fig. 6.9 – Protezione del perimetro esterno dell'edificio con teli impermeabili traspiranti.

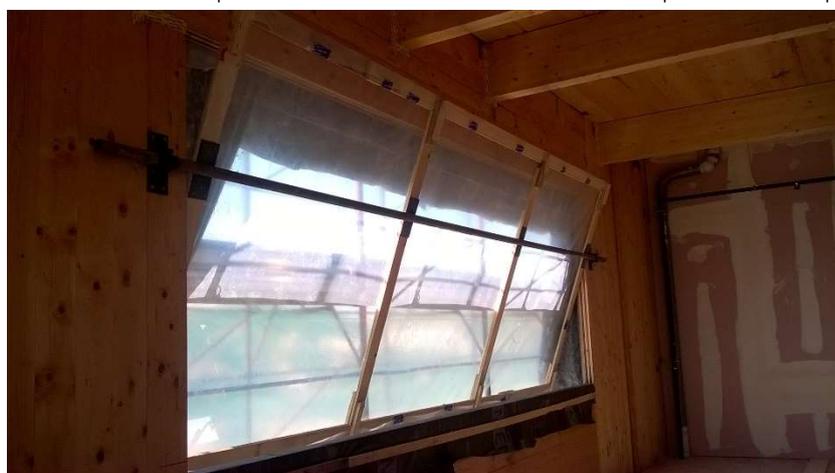


Fig. 6.10 – Infissi provvisori realizzati per proteggere le strutture durante il cantiere.

Anche il controllo della temperatura e umidità dell'aria all'interno del cantiere sono particolarmente importanti per prevenire possibili condizioni di degrado. A questo proposito una soluzione semplice ed economica è quella di posizionare dei termometri ed igrometri in maniera tale da monitorare le condizioni ambientali.



Fig. 6.11 – Controllo della temperatura e dell'umidità interna in cantiere mediante termigrometro.

Occorre anche porre attenzione a situazioni inattese che si possono verificare durante il cantiere. Ad esempio, la presenza di guaine acustiche poste alla base delle pareti che fuoriescono rispetto al perimetro esterno dell'edificio come in Fig.

6.12 possono fungere da elementi che convogliano l'acqua all'interno della costruzione causando aumenti non voluti dell'umidità alla base della parete che possono portare nell'arco di breve tempo a fenomeni di degrado se non controllate.

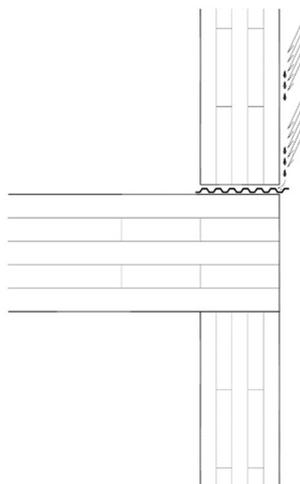


Fig. 6.12 – -Guaina acustica alla base della parete che fuoriesce rispetto al perimetro esterno convogliando l'acqua all'interno della costruzione.

La situazione può ulteriormente peggiorare se la guaina è porosa (cosa assolutamente da evitare), perché in questo caso funge da "spugna" alla base della parete peggiorando ulteriormente la situazione.

### 6.3 SITUAZIONI TRANSITORIE IN CANTIERE

Le nuove norme tecniche per le costruzioni riportano un paragrafo dedicato alle situazioni transitorie. A tal proposito indicano quanto di seguito: *"per situazioni costruttive transitorie, come quelle che si hanno durante le fasi della costruzione, dovranno adottarsi tecnologie costruttive e programmi di lavoro che non possono provocare danni permanenti alla struttura o agli elementi strutturali e che comunque non possano riverberarsi sulla sicurezza dell'opera (...). L'assegnazione delle azioni di progetto ad una delle classi di durata del carico e delle classi di servizio dovrà essere congruente con la effettiva durata della situazione transitoria in esame"*

Tali ambiti risultano essere importanti, sia per la positiva conclusione dei lavori, che per quanto riguarda la sicurezza dei lavoratori in cantiere; basti pensare infatti che un incremento della luce del 20% (causa ad es. la posa di montanti alle estremità in assenza di un pilastro intermedio) comporta un incremento del 43% delle tensioni di trazione e compressione sul materiale ed una deformabilità massima doppia. Per questo motivo ogni variazione della luce  $l$ , a parità di sezione e carico, deve essere valutata attentamente, poiché comporta incrementi non trascurabili in termini sollecitazioni e deformabilità.

Inoltre per elementi snelli (base molto minore dell'altezza) su luci di calcolo elevate si deve prestare particolare attenzione al fenomeno di instabilità flessione-torsionale, che può verificarsi anche in presenza dei soli carichi permanenti. Per questo motivo deve sempre essere stabilizzato il lembo superiore compresso mediante l'inserimento di elementi di controvento. Durante il montaggio, qualora in sede di progetto sia previsto il controvento, è necessario che le travi rimangano puntellate con uno o più supporti intermedi fino alla completa realizzazione del controvento.



Fig. 6.13 – Brock Commons – Fase di cantiere a seguito di nubifragio

Oltre a considerazioni ingegneristiche, è necessario arrivare a definire strategie di protezione del cantiere contro il contatto con l'acqua meteorica e fuoco.

### 6.3.1 PROTEZIONE CONTRO IL FUOCO: UN OVERVIEW SULLA REGOLAMENTAZIONE

L'utilizzo di un materiale combustibile, quale il legno, per definire l'ossatura di un'opera di ingegneria, ha portato la definizione in vari paesi Europei (e non solo) alla redazione di regolamenti edilizi restrittivi soprattutto nel caso di edifici "alti" o comunque per opere in legno complesse.

Questo ha spinto l'industria a definire nuovi modelli per la progettazione di un'opera nei confronti della sicurezza in caso di fuoco. A tal proposito è sicuramente da evidenziare che tali ricerche hanno infatti contribuito a definire strategie di mitigazione del rischio (attraverso sistemi di protezioni attivi e passivi) e ad oggi si ravvede a livello internazionale una maggior fiducia nelle costruzioni in legno e anche regolamentazioni stringenti sono oggetto di revisioni (seppur parziali) in favore di tecniche costruttive che possono rispondere prevedibilmente nei confronti del fuoco.

Al contempo è necessario approfondire i temi di ricerca e la comprensione delle strutture in legno nei confronti del fuoco. Le esperienze nazionali e internazionali, così come i modelli recentemente sviluppati sono per lo più limitati all'esposizione a curve di incendio standardizzate, che spesso sono sufficienti per verificare i requisiti di sicurezza antincendio per edifici fino a circa 8 piani.

Per edifici più alti rimane quindi indispensabile un approfondimento scientifico al fine di verificare il comportamento complessivo dell'opera soprattutto nei confronti di curve di incendio naturali che possono differire anche di molto rispetto a quanto osservato in prove di laboratorio (sia nei confronti della velocità di propagazione, virulenza dell'incendio stesso e opacità dei fumi sviluppati).

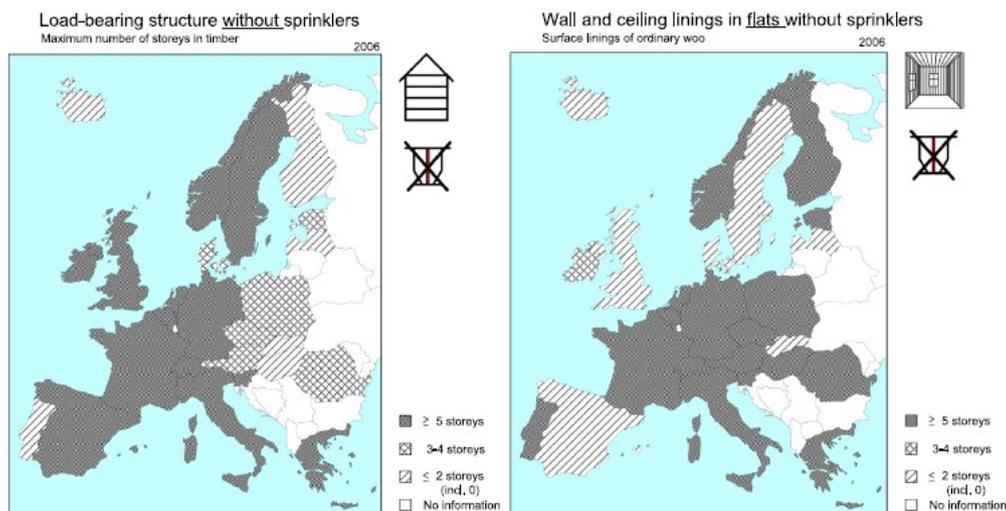


Fig. 6.14 – Limitazioni legislative nell'uso di strutture portanti in legno (e legno a vista a destra) in accordo a regolamentazione nazionali. I colori scuri indicano che sono ammesse realizzazioni con un numero di piani  $\geq 5$

### 6.3.1.1 Studi di riferimento

#### - Una linea guida Europea

La prima linea guida europea sulla sicurezza antincendio in legno gli edifici (Fire Safety in Timber Buildings – Technical Guideline for Europe, SP Report, 19, 2010) è stata prodotta da una squadra internazionale che ha coinvolto i maggiori laboratori ed enti di ricerca presenti sul territorio comunitario. Tale documento fornisce il background e i metodi di progettazione per la realizzazione di edifici a struttura di legno con prestazioni di sicurezza nei confronti del fuoco simili ad edifici realizzati con materiali tradizionali. Oltre alla struttura e al relativo dimensionamento, tale linea guida Europea contiene specifici paragrafi dedicati ai rivestimenti, quali pavimentazioni e facciate, elementi di barriera al fuoco, impiantistica attiva antincendio.

#### - Documenti e linee guida del Nord America

La Fire Protection Research Foundation ("Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings, Fire Protection Research Foundation Quincy, MA, USA, 2013") ha pubblicato un'ampia rassegna della letteratura e casi studio di edifici in legno realizzati in vari paesi del mondo. Tale documento include anche un'analisi circa le raccomandazioni per ricerche e test del prossimo futuro, di seguito riassunte:

- Prove di resistenza al fuoco su soluzioni ibride.
- Prove di resistenza al fuoco su telai in legno di grandi dimensioni.
- Implementare l'analisi economica per quantificare costruzione, funzionamento e costi di soluzioni abitative complesse realizzate con tecnologie costruttive in legno.
- Definire un'ampia campagna di comunicazione e educazione per tecnici e committenti

Inoltre una seconda fase della ricerca secondo la Fire Protection Research Foundation dovrebbe coinvolgere e approfondire le caratteristiche dei pannelli CLT nel determinare le performance di tali elementi nel ruolo di compartimentazione.

- **Linee guida Canadesi**

FPIInnovations ha pubblicato una guida tecnica per la progettazione di costruzioni alte in legno (FPIInnovations, Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada, FPIInnovations, Vancouver, Canada, 2013). Il capitolo dedicato a definire i criteri di sicurezza in caso di incendio è fortemente correlato ai contenuti del National Building Code of Canada (NBCC), che mira a fornire un metodo di progettazione alternativa e che fornisca gli strumenti per arrivare a definire una soluzione prestazionale accettabile secondo il metodo prescrittivo presente all'interno del NBCC (appendice B).

- **NIST "White paper"**

Il Paper (A.H. Buchanan, B. Östman, A. Frangi, Fire Resistance of Timber Structures, NIST White Paper, Washington DC, USA, 2014) definisce un modello prestazionale per la progettazione nei confronti della sicurezza in caso di antincendio per edifici aventi da 3 a 10 piani, che allo stesso modo sono probabilmente i più diffusi e fattibili oggi da un punto di vista tecnico ingegneristico.

Lo stesso documento si concentra su edifici in "massicci", costruiti da travi e pilastri in legno lamellare e realizzati tramite l'impiego di pannelli in legno di grandi dimensioni (CLT). Nel paper trova trattazione anche la diffusione del fuoco dall'esterno verso l'interno e pone in evidenza il ruolo dei rivestimenti di facciata come elementi di propagazione.

Secondo il White Paper deve essere fornita in sede progettuale un adeguato modello in cui si ha una combinazione attiva e passiva delle strategie di compartimentazione al fine di garantire la sicurezza dei soggetti che occupano la costruzione.

**6.3.1.2 Sicurezza al fuoco e complessità dell'opera**

L'altezza dell'edificio è fondamentale nel considerare le strategie di sicurezza in caso di incendio. Per edifici bassi la sicurezza della vita degli occupanti può essere raggiunta garantendo il tempo necessario ad evacuare la struttura. Infatti una volta che tutti gli occupanti sono in sicurezza, può essere accettabile il collasso dell'opera.

Un'evacuazione completa comunque non può essere sempre possibile, soprattutto qualora molti soggetti vadano ad occupare piani superiori a quello dove si è sviluppato l'incendio. Per gli edifici fino a circa 8 piani c'è una possibilità di lotta antincendio e salvataggio tramite scale (l'altezza massima raggiungibile normalmente con scale a pioli), ma le condizioni entro cui l'attività dei vigili del fuoco possono agire si fanno sempre maggiori in funzione della maggiore altezza della costruzione.

Nei casi in cui si abbia quindi un edificio alto (ossia con un numero di piani superiore ad 8 ed indipendentemente dal materiale con cui viene realizzato) le strategie di sicurezza al fuoco, proprio alla luce dei tempi di fuga degli occupanti, devono essere diverse. Si parla in questo infatti di incapsulamento: ossia il contenimento dell'incendio entro un determinato comparto sino ad un suo esaurimento e la successiva evacuazione qualora questa si renda necessaria.

Complessità ingegneristica	Livello di performance	Possibile strategia per la progettazione
Edifici bassi	Fuga degli occupanti senza alcuna assistenza; nessuna protezione	Nessun incapsulamento
Edifici di media altezza	Fuga degli occupanti senza alcuna assistenza; definizione di alcune misure di protezione	Nessun incapsulamento
Edifici alti	Fuga degli occupanti con l'aiuto dei Vigili del Fuoco;	Limitate zone di incapsulamento
Edifici molto alti	Protezione degli occupanti sul posto;	Incapsulamento necessario

Tab. 6.15 – Sicurezza in caso di incendio: possibili requisiti e altezza dell'edificio

## 6.3.2 CANTIERE E FUOCO

La fase cantieristica, per le strutture in legno risulta essere anche quella maggiormente soggetta a rischi di innesco. Infatti durante il processo di realizzazione dell'edificio, gli elementi in legno possono essere direttamente esposti all'azione di fiamma, anche per lunghi periodi, in quanto è assente una protezione incombustibile (ad es. cartongesso) che può rallentare la propagazione dell'incendio medesimo.

Tale situazione di rischio non viene molte volte considerata all'interno degli elaborati progettuali; al contrario devono essere individuate dal direttore Lavori e attuate dal costruttore una serie di misure e prescrizioni affinché venga reso minimo il rischio collegato al verificarsi di un incendio.

### 6.3.2.1 Azioni passive di mitigazione del rischio di incendio durante la realizzazione dell'opera

Al fine di contenere lo sviluppo di un incendio all'interno di un'opera in legno è opportuno:

- Privilegiare sistemi di prefabbricazione che consentono l'applicazione dei rivestimenti in stabilimento in modo da portare pacchetti già provvisti di strati incombustibili in cantiere;
- Prevedere l'installazione il prima possibile (anche in considerazione del cronoprogramma dei lavori) di porte e finestre al fine di creare compartimentazioni (seppur parziali) all'interno del cantiere;
- È necessario individuare da parte della Direzione Lavori delle distanze minime da tenere tra struttura lignea posta in opera e possibili sorgenti di innesco, cercando di diminuire il carico di incendio in prossimità dell'opera stessa. Deve essere quindi scelta e delimitata l'area di stoccaggio del materiale a terra. Per quanto possibile posizionare l'area di stoccaggio del materiale ad almeno 2 m dall'area di edificazione dell'opera.
- Per quanto possibile è necessario prevedere distanze di almeno 2 m tra materiale combustibile a terra e lavorazioni a fiamma libera;
- Lavorazioni con strumenti che generano scintille, quali ad es. smerigliatrice angolare, devono essere eseguite in una zona delimitata dalla Direzione Lavori sufficientemente lontana da materiali infiammabili, eventualmente compartimentata da teli ignifughi.
- A termine dei lavori che prevedono l'utilizzo di fiamma (ad es. posa e sigillatura di guaine bituminose) si deve procedere ad un controllo delle superfici delle strutture in legno entro i due metri attigui alla lavorazione eseguita. Particolare attenzione deve essere posta dai carpentieri a quelle situazioni che possono sviluppare una combustione senza fiamma. Nel caso di minimo dubbio provvedere a contattare la Direzione Lavori, pianificando ulteriori azioni di mitigazione del rischio. Il proseguo dei lavori potrà avvenire solo a seguito di una valutazione della Direzione Lavori di un rischio di incendio trascurabile.
- Nelle zone di unione che utilizzano elementi metallici di collegamento, la Direzione Lavori deve controllare la corretta posa in opera di eventuali protezioni previste in sede progettuale, quali tappi, placcaggi o listelli a protezione delle piastre.
- Devono essere controllate attentamente le nastrature di tenuta all'aria in quanto una sigillatura eseguita non correttamente, può portare ad alimentare attivamente lo sviluppo dell'incendio all'interno dell'opera.
- Deve essere controllata la posa dell'isolante all'interno degli elementi a telaio in quanto gli stessi possono (qualora vengano usati elementi a base di materiali incombustibili) contribuire ad isolare i montanti e correnti dal fuoco, rallentando lo sviluppo dell'incendio stesso. Si consiglia quindi di:
  - prevedere il taglio dei pannelli isolanti 5-10 mm più grandi della cavità entro la quale devono essere posti.
  - Fissare il materiale isolante (ad es. con graffe) ai montanti.
- Deve essere fatto divieto di fumare all'interno del cantiere;

### 6.3.2.2 Azioni attive di mitigazione del rischio di incendio durante la realizzazione dell'opera

La direzione lavori dovrebbe prevedere un piano per la distribuzione all'interno del cantiere dei dispositivi antincendio.

In particolare gli estintori devono essere posizionati:

- Entro i 5 m da eventuali postazioni dedicate alle lavorazioni “a caldo”;
- Ad una distanza massima di 12 m da qualsiasi punto del cantiere.

### 6.3.2.3 Realizzazione dei cavedi e passaggi impiantistici

Il rischio di propagazione dell'incendio mediante trasmissione di fiamma nei cavedi può essere considerato una delle maggiori cause nel controllo della compartimentazione dei locali.

Devono essere quindi controllate e successivamente documentate dalla direzione lavori la tipologia delle barriere al fuoco poste all'interno dei medesimi cavedi e passaggi impiantistici, nonché deve essere appurata la corretta installazione delle stesse.



Fig. 6.16 – Cavedio correttamente concepito per la sicurezza in caso di incendio (materiale incombustibile a protezione del passaggio impiantistico)

Nel caso si utilizzino materiali fibrosi incombustibili (quale ad es. lana di roccia o lana di vetro), la direzione lavori deve verificare che lo stesso materiale sia opportunamente sagomato dai carpentieri e il perimetro dello stesso aderisca alla forma del cavedio oggetto di attenzione.



Fig. 6.17 – Immagine termografica – sviluppo e propagazione dell'incendio attraverso i cavedi tra moduli prefabbricati

### 6.3.3 CANTIERE ED EVENTI ATMOSFERICI

Indipendentemente dal materiale utilizzato è necessario prevedere apposite misure al fine di evitare il contatto tra materiali edili e acqua, sia questa dovuta a eventi atmosferici, di risalita o effetti di condensazione.

Tutti i materiali da costruzioni infatti a contatto con l'acqua possono sviluppare agenti fungini, tanto dannosi per quanto riguarda la salute in termini di qualità dell'aria, aspetto (presenza di muffe) e stabilità strutturale. Basti infatti pensare alla corrosione dell'acciaio, oppure alla perdita delle prestazioni di connettori acciaio-cemento o ancora agli aspetti di attacco fungino su materiali legnosi.

La capacità di gestire l'acqua sia nella fase cantieristica che in esercizio rappresenta un punto focale per tutto il comparto edile e in questo le costruzioni in legno non fanno eccezione. E' inoltre da sottolineare che i meccanismi igroscopici del materiale legno uniti alla tendenza dello stesso ad assorbire più velocemente l'umidità rispetto alla relativa cessione, rendono di fatto le relazioni legno-acqua come punto focale su cui tanto la direzione lavori, quanto il costruttore devono prestare attenzione.

### 6.3.4 GESTIONE DEL MATERIALE E PROTEZIONE DEL CANTIERE

Lo stoccaggio del materiale in cantiere dovrà avvenire in luogo adeguato e agevolmente accessibile per le operazioni di montaggio con la gru, con spazio sufficiente per operazioni di spostamento. Il luogo di deposito dovrà essere il più possibile piano e il sottosuolo non cedevole. Come supporto di deposito si prestano molto bene gli spessori in legno squadrato o altri elementi che distacchino da terra i pannelli in legno. I pannelli devono essere coperti in modo da non essere esposti alle intemperie (pioggia, vento e sole). Avendoli coperti con un telone, bisogna però garantire queste condizioni per tutta la durata dello stoccaggio; un telo di plastica previsto per durare qualche giorno potrebbe lacerarsi sotto l'azione del vento, della pioggia e del sole.



Fig. 6.18 – -Guaina acustica alla base della parete che fuoriesce rispetto al perimetro esterno convogliando l'acqua all'interno della costruzione.

La soluzione ideale è quella di portare i pannelli e le travi in cantiere in pacchi già confezionati in stabilimento e stocarli quindi con l'interposizione di dormienti in legno di almeno 6-8 cm di spessore. In alternativa è possibile portare i singoli pannelli in cantiere, posarli in posizione orizzontale distanziati con dormienti in legno posizionati tra tutti i pannelli e proteggere poi l'intero carico con un telo impermeabile e a tenuta. E' molto importante, in quest'ultimo caso che i dormienti garantiscano un'adeguata ventilazione tra i pannelli.

### 6.3.5 PROCESSO DI REALIZZAZIONE E PREVENZIONE DEL DEGRADO BIOLOGICO

Le costruzioni in legno possono essere oggetto di attacchi da parte di funghi (qualora il contenuto di umidità degli elementi sia superiore al 20%) durante l'iter di costruzione dell'opera. Si possono infatti verificare eventi atmosferici quando gli elementi non sono ancora protetti e quando inoltre le condizioni per una cessione dell'umidità da parte del materiale legno non sono ottimali. Entro tale frangente è possibile minimizzare il rischio di attacco fungino prendendo a carico della filiera che agisce su un determinato cantiere le dovute precauzioni sia nella fase di trasporto del materiale a base legno, stoccaggio in cantiere e montaggio dell'opera stessa.

Teloneria di vario tipo può essere utilizzata per proteggere il materiale durante le fasi di trasporto e stoccaggio in cantiere; tali teli allo stesso tempo devono essere parzialmente rimossi in sede di montaggio dell'opera, esponendo il materiale a rischi per quanto riguarda l'attacco di agenti biotici (funghi).

In alcuni casi, tutta la costruzione può essere oggetto di protezione mediante l'utilizzo di una tenda mobile (tale metodologia di lavoro è spesso utilizzata nei paesi scandinavi dove molto spesso si hanno condizioni metereologiche avverse).

Entro tale ambito Assolegno ha definito una proposta di standard dedicato alla fase di esecuzione dell'opera, riportando varie strategie di protezione del cantiere in funzione della complessità l'opera. Entro tale ambito è prevista la redazione di un piano di controllo dell'umidità a carico del Direttore Lavori.

### 6.3.5.1 Piano di controllo dell'umidità

Nella proposta di standard elaborata da Assolegno dedicata all'esecuzione delle opere in legno e similmente a quanto previsto in altri contesti Europei, si suggerisce alla direzione lavori la definizione di un piano di controllo dell'umidità. Tale piano di controllo deve contenere i metodi con cui viene verificata l'umidità dei prodotti a base legno all'interno delle diverse fasi realizzative dell'opera, le periodicità dei controlli e i limiti di ammissibilità entro i quali è possibile parlare di conformità della costruzione in relazione alla vita nominale prevista in sede di progetto.

In senso generale, all'interno del medesimo piano di controllo dovranno essere indicate anche:

- le relative misure di protezione dagli agenti atmosferici da apportare alla struttura nelle diverse fasi di edificazione. Di norma, questo può essere ottenuto attraverso l'apposizione di teli impermeabili traspiranti sui solai ( $S_d \leq 0,02$  m), coperture, tetti o infissi temporanei che di fatto impediscono l'ingresso di pioggia o precipitazioni in genere nelle fasi costruttive;
- le relative misure dedicate alla protezione del materiale legno nei confronti dell'umidità in condizione di esercizio dell'opera.

I contenuti di un generico piano di controllo dell'umidità sono riportati nella tabella 6.19

---

**Generalità**

- il piano di controllo dell'umidità deve prendere in considerazione le fasi di produzione, lavorazione, trasporto e posa in opera degli elementi a base legno;
- il Direttore lavori deve supervisionare l'attività del costruttore e carpentiere al fine di verificare che le prescrizioni del piano vengano effettivamente eseguite in corrispondenza dell'ingresso al cantiere, di stoccaggio e nelle fasi di realizzazione dell'opera.

---

**Contenuti:**

Il seguente piano di controllo dell'umidità è riferito a realizzazioni in situ; per costruzioni oggetto di prefabbricazione possono essere previste opportune semplificazioni. Il piano di controllo dell'umidità deve quindi contenere:

- Informazioni di base circa l'opera da realizzare (indirizzo del cantiere, il riferimento del costruttore, delle squadre di carpenteria, direttore lavori, progettista strutturale dell'opera ....)
- Elenco dei materiali a base legno ad uso strutturale impiegati nella realizzazione;
- I riferimenti di umidità degli elementi a base legno e relative tolleranze previste nelle specifiche tecniche di riferimento all'interno della produzione;
- I riferimenti di umidità degli elementi a base legno e relative tolleranze previste nelle fasi di ingresso in cantiere, stoccaggio, realizzazione dell'opera e a conclusione dei lavori (chiusura dei pacchetti);
- Possibili fonti di umidità del cantiere (ad es. neve, pioggia, umidità di risalita, umidità dei getti...); è consigliato dettagliare la stessa fonte di umidità in relazione al particolare costruttivo considerato;
- Il livello di protezione (LP di riferimento come da paragrafo seguente) scelto per la fase di realizzazione e una stima della durata della protezione stessa
- La protezione dei prodotti a base legno da seguire all'interno del cantiere:
  1. Nella fase di stoccaggio (se prevista)
  2. Nella fase di realizzazione dell'opera (corrispondente al livello di protezione scelto)
  3. Nelle fasi entro le quali – per eventi accidentali – si necessita di processi di asciugatura del materiale
- Definizione di piani di emergenza dovuti ad infiltrazioni di acqua una volta che la struttura è entrata in esercizio;
- Periodicità<sup>a)</sup>, punti di ispezione<sup>b)</sup>, registrazioni e persona responsabile degli stessi controlli

---

a) La circolare esplicativa, al punto C11.7.10.2, definisce quanto segue in relazione ai controlli di umidità: *“In relazione ad elementi lineari o planari che devono essere incorporati in pacchetti costruttivi atti a definire la stratigrafia di strutture opache orizzontali, verticali e coperture assemblate in situ, non ventilati, il Direttore Lavori è opportuno che provveda ad assicurarsi che l'umidità degli elementi portanti al momento della chiusura della stratigrafia interessata sia inferiore o uguale al 18%. Tale controllo dovrà interessare almeno il 10% del materiale strutturale fornito ed essere uniformemente distribuito su tutta la fornitura messa in opera”*

b) Quale indicazione di massima è consigliato definire come punti di controllo, almeno i seguenti:

- Attacco a terra;
- Attacco balcone;
- Nodo serramento;
- Coperture piane.

---

Tab. 6.19– Contenuto del piano di controllo dell'umidità

---

### 6.3.5.2 Umidità di prodotti a base legno e realizzazione

L'umidità dei prodotti a base legno più diffusi a livello commerciale (all'uscita dello stabilimento di produzione), può essere generalmente così schematizzata:

- Legno massiccio: generalmente in cantiere con  $U\% (\text{legno}) \geq 20\%^8$
- Legno lamellare incollato (EN 14080) e pannelli di compensato di tavole (EAD 130005-00-0304; EN 16351) incrociati a strati incollati: generalmente in cantiere con  $9\% \leq U\% (\text{legno}) \leq 15\%$
- Pannelli in legno compensato e LVL: generalmente in cantiere con un  $8\% \leq U\% (\text{legno}) \leq 10\%$

È altrettanto chiaro che durante le fasi di trasporto, stoccaggio in cantiere e montaggio generalmente si assiste ad un aumento dell'umidità dei prodotti a base legno (ad eccezione di prodotti in legno massiccio, qualora gli stessi vengano previsti in sede di progetto quali elementi "freschi", ossia con  $U_{(\text{legno})} > 20\%$ ).

### 6.3.5.3 Livello di protezione

Nel piano di controllo dell'umidità deve essere previsto il livello di protezione degli elementi a base legno. In considerazione della stazione di cantiere devono essere previste le condizioni meteorologiche normali ed eccezionali che possono influenzare la scelta del livello di protezione. Deve essere inoltre considerata l'umidità di cantiere al fine di garantire la conformità dell'opera alle prestazioni previste in progetto.

I livelli di protezione (LP) possono essere così schematizzati:

- LP0: nessuna protezione: è consigliato solo in particolari condizioni climatiche in quanto si deve tenere in considerazione che l'umidità del materiale viene ad essere direttamente influenzata dalle condizioni di contorno;
- LP1: protezione parziale con teli provvisori: può essere attuata installando teli di cantiere ad esempio in corrispondenza dei venti dominanti o in copertura al fine di garantire una protezione degli elementi posti in opera e per mantenere un'umidità degli stessi inferiore al 18%. Saltuariamente e per brevi periodi possono essere previste condizioni di umidità dei materiali superiori al 18%.



Tab. 6.20— protezione parziale con teli provvisori sulla parete esposta a venti dominanti e pioggia di stravento

---

<sup>8</sup> La EN 14081-1 disciplina che qualora non espressamente dichiarato all'interno del contratto e quindi all'interno della documentazione accompagnatoria, il materiale deve intendersi "fresco", ossia con  $U\% (\text{legno}) \geq 20\%$

- LP2: protezione totale con teli provvisori: allestimenti che consentono condizioni di lavoro per le squadre di carpenteria migliori di quanto previsto in LP1 e contestualmente tassi di umidità inferiori al 18% per tutta la durata del processo di realizzazione dell'opera.



Tab. 6.21– protezione totale con teli provvisori

In via generale è possibile definire la seguente correlazione con la complessità ingegneristica dell'opera:

- LP0 / LP1: edifici a destinazione agricola con presenza saltuaria di persone; edifici monopiano o strutture semplici e di modesta entità (luce massima ammessa pari a 6 m o in alternativa per un quantitativo massimo ammesso (lotto di fornitura) uguale a 15 m<sup>3</sup>, così come meglio definito nell'Appendice B della UNI TR 11499
- LP1: coperture, edifici a carattere residenziale o terziario a destinazione privata o pubblica con
  - Luce o altezza non superiore a 15 m ;
  - Edifici con un numero di piani fuori terra massimo pari a 4
- LP2: coperture, edifici a carattere residenziale o terziario a destinazione privata o pubblica con caratteristiche di luce e altezza superiori a quelle previste per LP1.

#### 6.4 RELAZIONI STRUTTURA E IMPIANTISTICA

All'interno del presente paragrafo verranno fornite, tramite l'ausilio di immagini, alcune indicazioni di massima circa le correlazioni che possono sussistere tra struttura e impianti con particolare riferimento a quanto attualmente richiesto dalle regole tecniche e dalle norme applicabili.

Seguendo la trattazione in merito alla distribuzione degli impianti si riportano esempi nelle figure 6.22 e 6.23

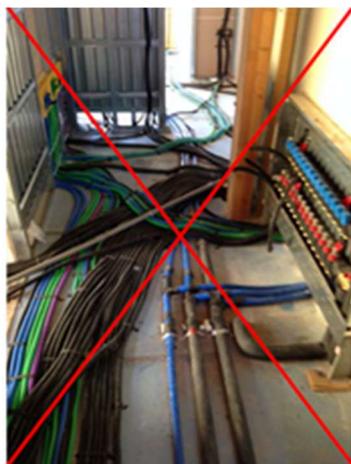


Fig. 6.22 – Cattiva distribuzione degli impianti



Fig. 6.23 – Corretta distribuzione degli impianti

Inoltre tra un locale e l'altro è opportuno prevedere il passaggio dei tubi sotto le porte e non attraverso la fresata di parete (vedi fig. 6.24); in figura 6.25 è riportato invece un esempio di carattere negativo, dove – al fine di permettere il passaggio degli impianti – l'impresa ha proceduto a demolire parte del cordolo in c.a. con conseguente mancanza di appoggio per il corrispettivo hold-down.



Fig. 6.24 – Passaggio sotto porta impianti



Fig. 6.25 – Comportamento errato e mancato schema impiantistico - Passaggio impianti con scasso del cordolo e assenza di appoggio per hold-down

Gli impianti inoltre influiscono sicuramente sul comfort acustico dell'abitazione. In tal caso, per ridurre i ponti acustici è preferibile installare le scatole elettriche in modo sfalsato (in planimetria) come mostrato in figura 6.26.

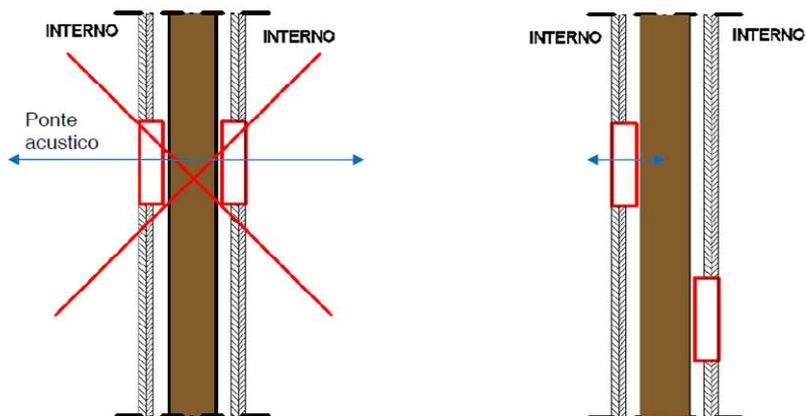


Fig. 6.26 – posizione corretta delle scatole elettriche

Per quanto riguarda i corrugati, non si deve mai procedere agli attraversamenti dei profili metallici con rischi di lacerazione e otturazione dello stesso corrugato (come da figure 6.27 e 6.28).



Fig. 6.27 – passaggio non corretto



Fig. 6.28 – passaggio corretto

In riferimento al punto luce del soffitto deve essere previsto il passaggio in aderenza al pannello Xlam; rimane non preferibile forare il pannello dall'alto per raggiungere da sopra il punto luce (vedi fig. 6.29 e 6.30).

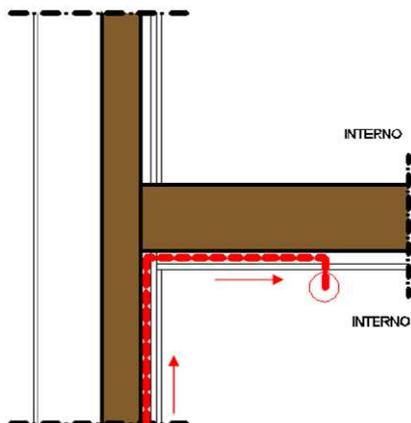


Fig. 6.29 – Passaggio corretto punto luce

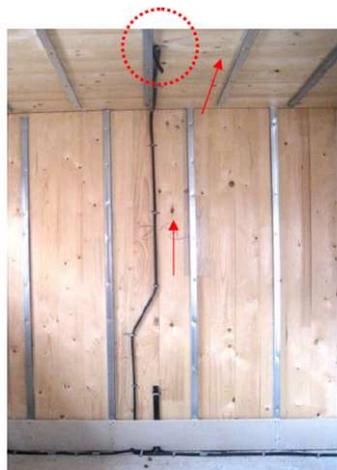


Fig. 6.30 – Passaggio corretto punto luce

Per garantire la tenuta all'aria di tutto l'involucro i corrugati non sono legati a fascio e fatti passare in un unico foro quadrato, ma gli stessi fori sono distribuiti linearmente, lasciando lo spazio di lavorazione necessario tra i canali al fine di poter posare il nastro di tenuta all'aria (vedi fig. 6.31 e 6.32).



Fig. 6.31 – predisposizione impianto elettrico

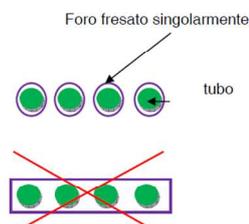


Fig. 6.32 – schema fori impianti elettrico

Inoltre si deve procedere a nastrare i corrugati in uscita verso l'esterno e tra unità abitative differenti (vedi fig. 6.33).



Fig. 6.33 – Corretta nastratura dei corrugati

In seguito alla stesura dei cavi elettrici, tutti i corrugati comunicanti con l'esterno (ad es. uscita cavo allarme, citofono, antenna, punti luce, automatismi, ecc.) dovranno essere resi ermetici attraverso l'uso di tappi idonei o tramite l'utilizzo di silicone (vedi fig. 6.34).



Fig. 6.34 – Cavo elettrico esterno e sigillatura

In relazione alle scatole porta frutto devono essere utilizzate speciali scatole che superino la prova del filo incandescente secondo quanto definito dalla norma IEC 60695 (serie).

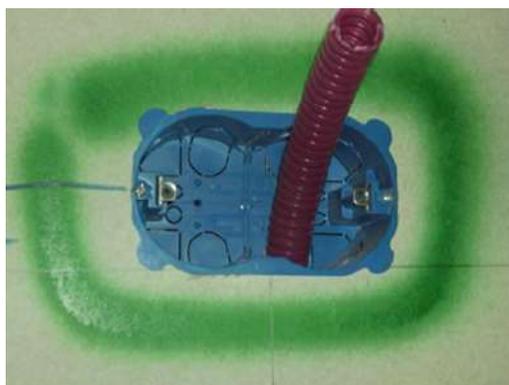


Fig. 6.35 – portafrutto a norma per le strutture in legno



Fig. 6.36 – scatole per strutture in muratura

Per quanto concerne l'impianto idrico, allo stesso modo si cerca di sintetizzare considerazioni al fine di suggerire gli adeguati comportamenti in sede di cantiere.

È consigliabile quindi, evitando congiuntamente qualsiasi tipo di accavallamento di tubi, far uso di cassetta di distribuzione dedicata ad ogni bagno senza l'utilizzo di giunti a "T" (come indicato all'interno delle fig. 6.37 e 6.38).

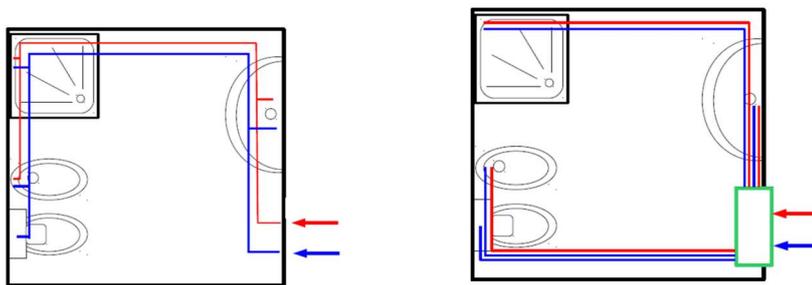


Fig 6.37 – distribuzione impianto idraulico tradizionale

Fig. 6.38 – Distribuzione impianto idraulico senza accavallamenti e con cassetta di distribuzione

Inoltre il fissaggio del tubo alla struttura dovrà essere eseguito tramite l'interposizione di guaina protettiva, per evitare che eventuali condense sulle parti metalliche esposte possano danneggiare la struttura (vedi figure 6.39 e 6.40).



Fig 6.39 – assenza di protezione per la struttura in legno



Fig 6.40 – protezione dalle condense tramite interposizione della guaina

L'ancoraggio al solaio dovrà essere elastico ed evitare ogni possibile ponte acustico. Si consiglia quindi di prevedere l'uso di materiale fono isolante interposto tra la fascetta metallica e il tubo e tra tubo e solaio (vedi fig. 6.41).



Fig 6.41 – corretto fissaggio della tubazione al solaio

## 6.5 ELETTRICITÀ E RISCHIO DI INCENDIO

Da un'analisi della Norma CEI 64-8, Parte 7 riguardante 'Ambienti ed Applicazioni Particolari', troviamo un riferimento alle strutture di 'legno' alla sezione 751, dove appunto si approfondisce, in generale, gli "Ambienti a maggior rischio in caso d'incendio" o ambienti MARCI..

L'articolo 751.03 della stessa, sottolinea che *"le caratteristiche di valutazione dei rischi di incendio ai fini della classificazione degli ambienti...devono essere considerate come dati di progetto"* e rimanda la classificazione del luogo ad altra normativa (D.Lgs 81/08 "Testo Unico sulla Sicurezza"; D.M. 10/03/98 "Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro" e s.m.i.).

Di fatto però l'articolo, distinguendoli dai cosiddetti 'luoghi ordinari', classifica come a maggior rischio gli edifici aventi strutture portanti combustibili. Questi, al comma 03 del medesimo articolo (751.03.03), vengono definiti 'ambienti di Tipo B', per distinguerli da quelli 'con elevata densità di affollamento' o da quelli 'con presenza di materiale infiammabile o combustibile in lavorazione', classificati anch'essi come luoghi MARCI, ma rispettivamente di 'Tipo A' e di 'Tipo C'.

Ora benché la valutazione dei rischi dal punto di vista dell'incendio non rientri d'ufficio tra le attività del progettista elettrico, né essa sia da effettuare a priori, sarà lo stesso tecnico tenuto a chiarire comunque ogni dubbio e prendere tutti i provvedimenti del caso per garantire 'la regola dell'arte'.

Tralasciando qui di considerare come causa d'incendio le fiamme libere, stufe e camini, si ricorda che i componenti elettrici riscaldano nel funzionamento ordinario, ma soprattutto in caso di guasto, quindi realizzare un impianto elettrico a contatto o dentro le strutture in legno, richiederà necessariamente l'applicazione di accorgimenti particolari.

In generale, l'impianto elettrico può essere causa d'incendio per diversi motivi:

1. Scintille (particelle incandescenti) ed archi elettrici. Particelle incandescenti che possono essere prodotte e diffuse a seguito del danneggiamento di un componente elettrico (es: scoppio di una lampadina), archi elettrici che si sviluppano per l'azionamento di interruttori (archi funzionali) o per guasto, tra le fasi o verso massa;
2. Punti caldi. Riscaldamento localizzato e potenzialmente a rischio che può aversi a seguito di connessioni lasche, correnti verso terra per guasti permanenti oppure per errato dimensionamento dei componenti.
3. Scariche atmosferiche. Fulmini che possono abbattersi sull'impianto, per fulminazione diretta della struttura, o per sovratensioni indotte, sollecitando comunque i componenti elettrici con ripidi fronti di corrente e tensione, e mettendo gli stessi a rischio di fusione o di esplosione

A tali rischi, del tutto ordinari, si devono aggiungere alcune criticità specifiche di cui possono essere oggetto le moderne abitazioni in legno.

Se il legno strutturale di per sé è un combustibile, d'altronde bisogna considerare che la presenza di intercapedini, cosiddette "portaimpianti", a parete e/o a pavimento, può creare condizioni di rischio particolari. Nelle intercapedini il principio di incendio può covare a lungo senza rivelarsi, d'altronde la maggiore presenza di aria può facilitare l'incendio e potenzialmente innescare un "effetto camino".

Le medesime intercapedini, poi, possono essere interessate da coibentazioni realizzate con materiali combustibili: la vicinanza ai componenti elettrici di materiali combustibili fibrosi, benché opportunamente trattati, può contribuire ad innalzare il livello di rischio elettrico.

### 6.5.1 ACCORGIMENTI E MATERIALI

Una volta note le cause di incendio e analizzati i rischi specifici, si può passare alla progettazione dell'impianto elettrico. A tal proposito, oltre ai criteri generali di esecuzione indicati dalla normativa, si farà riferimento alle indicazioni contenute nel citato articolo 751 della CEI 64-8/7, il quale prescrive alcuni criteri specifici riguardanti i metodi e i materiali da utilizzare per limitarne il verificarsi, o ridurre i danni che possono presentarsi, a seguito dell'evento sfavorevole. Posto che i componenti elettrici dovrebbero essere limitati a quelli strettamente necessari e non devono costituire pericolo di innesco o di propagazione di incendio per i materiali adiacenti, limitando l'interesse attuale alla posa incassata entro

intercapedini combustibili e termicamente isolanti, nella realizzazione di un impianto elettrico in un edificio in legno bisogna considerare i seguenti aspetti:

- Condutture - Al fine di evitare che eventuali scintille fuoriescano dal componente e vadano a lambire parti combustibili le condutture (scatole e cassette di derivazione comprese) devono presentare, almeno verso le strutture combustibili, grado di protezione minimo IP4X 13 (IP $\geq$ 4X), indipendentemente dalla classe di reazione al fuoco delle pareti;
- Tubazioni isolanti - Anche se i cavi saranno provvisti di guaina, devono essere segregati rispetto all'ambiente circostante, utilizzando idonea tubazione, anche isolante (rigida o flessibile). Le tubazioni isolanti devono aver superato la prova del filo incandescente (Glowing Wire Test o GWT) 15 a 750 °C. Tale requisito è soddisfatto in pratica da tutti i tubi corrugati.
- Scatole e cassette (portafrutto, portacentralino, di derivazione) – Devono essere conformi alla installazione all'interno di pareti ad intercapedine, in cartongesso o legno, realizzate in materiale plastico speciale (tecnopolimero autoestinguento) ed aver superato il GWT a 850 °C (marcate con 'H' o recanti informazione che sono adatti al tipo di posa). In alternativa esistono diverse soluzioni per 'schermare' le comuni scatole per pareti piene (Tipo 503).
- Protezione differenziale – Per limitare l'eventualità di punti caldi dovuti a correnti di dispersione, è opportuno proteggere tutti i circuiti con interruttori differenziali ad alta sensibilità ( $I_{dn} \leq 0.3$  A, per circuiti terminali;  $I_{dn} \leq 1$ A, per circuiti di distribuzione) e conduttore di protezione (PE).
- Conduttore di protezione - Per favorire l'intervento dell'interruttore differenziale in caso di guasto a terra (non franco), come cautela aggiuntiva, l'impiantistica statunitense utilizza cavi multipolari con all'interno il conduttore di protezione nudo. Questo va previsto anche su cavi che alimentano circuiti non collegati a terra (es: il comando luci), curando di effettuare il collegamento a terra entro le cassette di derivazione.
- Cavi (tipo) - Adottando il grado di protezione IP4X per tubazioni e scatole, la norma non pone particolari restrizioni per la tipologia di cavi. Essendo sufficiente il tipo 'non propagante l'incendio'17, potrebbe utilizzarsi la classica cordina N07V-K (unipolare), anziché i più impegnativi cavi multipolari con PE, ossia FROR o (meglio) FG7(O)M1. I multipolari però sono fortemente consigliati per quanto riportato al punto precedente.
- Cavi (portata) - La portata dei cavi posati entro intercapedini termicamente isolanti viene a ridursi (almeno del 20%) a causa della maggiore difficoltà a smaltire il calore verso l'esterno. La determinazione della portata va effettuata in base al procedimento generale indicato nella norma CEI 20-21, in quanto la Tabella CEI UNEL 35024/1 non è in questo caso applicabile. Usando conduttori con isolamento in PVC (cordina o FROR), è opportuno prevedere sezioni da 4 mm<sup>2</sup> per l'alimentazione di circuiti prese protetti con interruttori magnetotermici con  $I_n$  16A.
- Apparecchi di illuminazione – Poiché nel loro funzionamento normale riscaldano, nella loro scelta bisogna verificare se siano adatti o meno al tipo di installazione prevista, utilizzando la simbologia su essi riportata e stabilita dalla norma EN 60598-1 (CEI 34-21), a cui si rimanda per ulteriori informazioni. Da preferire apparecchi a sospensione o in alternativa utilizzare, ove possibile, gli appositi schermi. Attenzione va prestata anche ad eventuali alimentatori indipendenti.
- Interruttori e prese a spina – Benché la norma non consideri pericolosi gli archi funzionali prodotti da tali apparecchiature, la prudenza consiglia anche qui il grado di protezione IP4X.

Trattando di edifici in legno, un'attenzione particolare merita poi la protezione dal "rischio fulmine". Effettuando il calcolo in base alla norma CEI 81-10, si sottolinea l'opportunità di procedere, qui più che altrove, ad una attenta valutazione dei danni economici che potrebbe subire l'edificio a seguito di una scarica atmosferica, predisponendo tutte le misure di protezione necessarie. Evitando di cadere nel 'mito della autoprotezione', si consiglia di installare opportuni scaricatori di sovratensione a protezione di tutti gli impianti presenti, sia elettrici che di segnale (telefono, dati, ...) e verificare l'opportunità tecnico-economica di realizzare un moderno impianto di protezione da scariche atmosferiche (Lightning Protection System o LPS) ... il vecchio e sempre utile parafulmine. Infine è quasi superfluo ricordare che, al fine di

mantenere elevato il livello di sicurezza, in generale, è opportuno proteggere gli edifici costruiti con materiali combustibili con un semplice impianto di rivelazione incendi realizzato in conformità alla norma UNI 9795.

In conclusione, si può affermare che, grazie ad un opportuno lavoro di integrazione impiantistico-architettonica, facilitato dalla disponibilità commerciale di materiali e soluzioni tecnologiche, è oggi possibile realizzare edifici in legno, non meno sicuri, dal punto di vista elettrico, di quelli tradizionali.

## 7 GESTIONE DI UN CANTIERE MULTIPIANO IN LEGNO: UN CASO REALE

Gli edifici multipiano in legno (con particolare riferimento alle opere di ingegneria “massive”, quali quelle legate all’utilizzo di pannelli CLT, LVL o in legno lamellare) hanno le potenzialità per cambiare il modo di pensare in ambito edile, sia su livello nazionale che internazionale. Numerosi grattacieli in legno sono in fase di progettazione, in fase di sviluppo o già costruiti. Ad oggi, la discussione di la durabilità dei materiali e la i temi legato al degrado meccanico ad opera di agenti biotici stanno progressivamente prendendo piede sia all’interno del comparto industriale che professionale. Al contempo è da sottolineare come tutti i materiali possono essere oggetto di degrado causa locali o diffusi aumenti di umidità. È da sottolineare come l’ossatura in legno richieda particolari conoscenze del team di progettazione sia a livello ingegneristico che tecnologico: identificare e mitigare il rischio di potenziali infiltrazioni di acqua fa parte delle opportune considerazioni da tenere presente nel momento della concezione architettonica o nella definizione dei particolari costruttivi che andranno a caratterizzare l’edificio stesso.



Fig. 7.1 – Distribuzione di edifici alti in legno (numero di piani maggiore di 5). I punti neri rappresentano opere già realizzate; i punti bianchi quelli ipotizzati o in corso di realizzazione

### 7.1 INTRODUZIONE

Il legno ha numerosi attributi che lo rendono un materiale da costruzione unico sia da un punto di vista ingegneristico che architettonico; nel tempo è da registrare che legislazioni di carattere nazionale hanno in passato (e in molti paesi europei ed extraeuropei ancora oggi) hanno spesso limitato l'altezza delle opere in legno a causa (principalmente) delle relazioni legno-fuoco e dalla necessità di compartimentare attraverso materiali incombustibili determinate aree dell’edificio stesso.

Attraverso studi e ricerche oggi – rispetto al recente passato – la situazione a livello internazionale va sicuramente migliorando e limiti prescrittivi circa il numero di piani realizzati attraverso l’utilizzo di una determinata tipologia di ossatura lasciano il posto a livelli prestazionali di sicurezza dove l’ibridazione tra i materiali è vista come una ottimizzazione ingegneristica e tecnologica al fine di realizzare edifici prestazionali da un punto di vista della sicurezza abitativa (sisma e fuoco), del risparmio energetico, impronta ecologica, velocità realizzativa e prefabbricazione.

Oggi l’attenzione della comunità scientifica si sta spostando nello studio e nell’approfondimento delle relazioni legno – acqua. Come già detto precedentemente tutti i materiali a contatto con l’umidità presentano criticità nei processi di manutenzione (basti solo pensare ai problemi di corrosione nelle connessioni in c.a.).

La capacità quindi di prendere in considerazione sia dalla fase progettuale aspetti legati alla gestione dell’umidità risulta essere un elemento fondamentale al fine di definire programmi di manutenzione razionali in funzione della vita nominale dell’opera. Le strutture di legno quindi al pari di altre soluzioni costruttive hanno la necessità di aver un determinato piano di manutenzione (vedi par. 8) che parta dall’architettonico e conosca le peculiarità che il materiale presenta a livello tecnologico.

Infatti il legno ha la tendenza di assorbire umidità più velocemente rispetto ai tempi richiesti per una equivalente cessione di umidità: tale fattore si deve riflettere quindi nella scelta dei pacchetti costruttivi e nell'organizzazione di cantiere. Entro tale ambito cantieristico il legno aumenta il proprio contenuto di umidità per contatto diretto con l'acqua, mentre al contempo cede umidità per processi di evaporazione.

La stessa progressiva stagionatura del materiale in cantiere può essere inoltre ulteriormente ritardata causa l'utilizzo di pacchetti opachi chiusi non ventilati, o dall'utilizzo di materiali isolanti fibrosi o da materassini antivibranti "spugnosi" che tendono a loro volta a assorbire acqua e a fungere quali zone di deposito di acqua liquida.

Esperimenti in laboratorio hanno dimostrato come particolari assortimenti risultino essere più soggetti ad un assorbimento di acqua rispetto ad altri (vedi fig. 7.2).

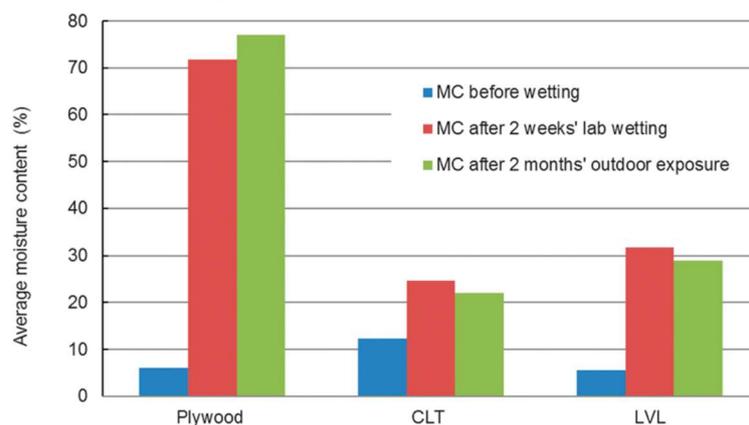


Fig. 7.2 – Contenuto di umidità di pannelli in compensato di tavole (plywood); CLT e LVL. In blu sono riportate le condizioni iniziali di umidità; in rosso a seguito di simulazioni in laboratorio in relazione a precipitazioni nell'arco di 2 mesi; in verde il comportamento osservato in cantiere in due mesi di attività cantieristica all'interno della fascia temperata

Un altro fattore da considerare nei processi di assorbimento di acqua da parte del legno è che la stessa umidità del materiale molte volte non è uniforme. Possono infatti coesistere delle "tasche" di umidità dove sussistono le condizioni di sviluppo di agenti fungini, a fianco di aree dove appunto tali condizioni non sussistono. Attraverso l'analisi di monitoraggio svolti attraverso la sensoristica S.A.L.E. è stato osservato che l'umidità dei pannelli (a seguito del singolo evento meteorico) è divenuta sia maggiore in superficie, ma anche negli strati intermedi (dove appunto si avranno sicuramente maggiori tempi per procedere ad una perdita di umidità).

## 7.2 IL CASO DEL CANTIERE DEL BROCK COMMONS

### 7.2.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

"Brock Commons" (questo il nome dell'opera) è stato l'edificio in legno più alto del mondo al tempo della sua costruzione. La stessa opera è parte di un complesso residenziale studentesco, con 404 posti letto, oltre a locali dedicati ai servizi per il campus universitario a pian terreno. La struttura può essere definita una soluzione ibrida "legno-c.a".

Oltre naturalmente alle fondazione, anche il piano terra così come i vani scale / ascensori, sono realizzati in cemento; la struttura "pendolare" è invece realizzata mediante soluzioni che vedono l'impiego di pannelli CLT per la realizzazione di solai, mentre gli elementi verticali (pilastri) sono costituiti da colonne in legno lamellare (GLT). L'involucro dell'edificio è costituito da elementi prefabbricati, portati in cantiere con già predisposti i relativi attacchi impiantistici.



Fig. 7.3 – Brock Commons: fase di cantiere (courtesy British Columbia University). Altezza dell'opera 53m (18 piani); area di cantiere (2.315 m<sup>2</sup>)

Già in fase progettuale, la British Columbia University ha incluso nel team di progettazione, tra cui il direttore dei lavori, il produttore degli elementi CLT/GLT, il costruttore (sia della parte lignea che della parte in calcestruzzo). In relazione al contributo degli attori industriali, è stato ritenuto dalla stessa British Columbia, fondamentale in termini di fattibilità, costruibilità e stima dei costi. Tale processo multidisciplinare ha creato quindi le condizioni per una facilità nella cantierizzazione dell'opera e nei vari step operativi di organizzazione del cantiere.

Altrettanto indispensabili sono stati i modelli di BIM utilizzati e sistemi di schematizzazione dell'opera in 3D: tale operazione ha favorito gli scambi tecnici tra i vari professionisti coinvolti, evitando contestualmente conflitti tra impiantistica e struttura (i relativi passaggi impiantistici sono stati tutti oggetto di lavorazione in stabilimento).

Inoltre la presenza all'interno del team della Direzione Lavori ha permesso la creazione di sequenze animate di montaggio sia della parte strutturale che degli elementi prefabbricati, mitigando la probabilità di errori di montaggio da parte delle squadre presenti in cantiere.

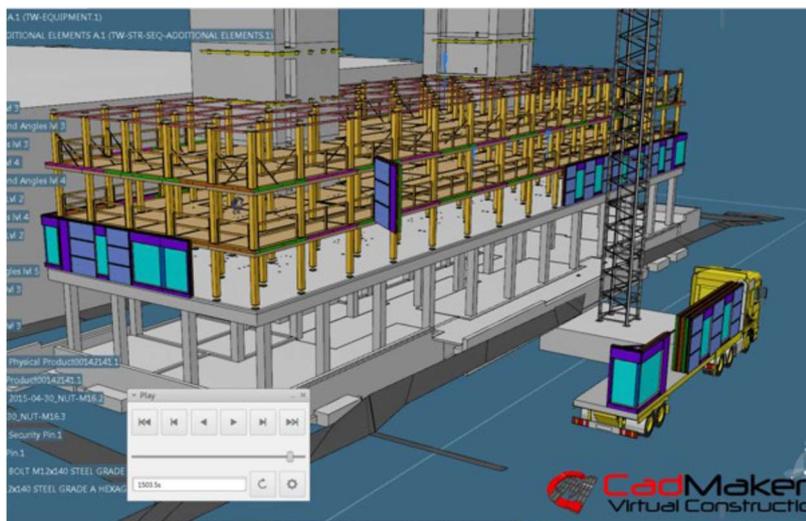


Fig. 7.4 – processo di digitalizzazione della struttura e impiantistica e definizione di simulazioni di montaggio al fine di ottimizzare il lavoro in cantiere e mitigare i rischi di errori da parte delle squadre di montaggio (Courtesy British Columbia University)

La progettazione e le approvazioni presso gli uffici Canadesi competenti hanno richiesto 8 mesi mentre la costruzione, iniziata a Novembre 2015 è terminata nel Maggio 2017, richiedendo complessivamente 18 mesi. Gli step realizzativi sono stati identificati in tre macro-categorie:

- Realizzazione delle parti umide del cantiere (getti in calcestruzzo);
- Posa in opera degli elementi strutturali in legno (CLT/GLT)

- Posa delle soluzioni prefabbricate di tamponamento

Prima di cominciare l'opera, è stato definito un "mock up" dell'edificio proprio per testare le ipotesi di progetto in termini di sequenza di montaggio nonché di organizzazione del lavoro e identificare eventuali possibili migliorie nella gestione del cantiere stesso.

La fondazione, così come il primo piano e i due nuclei in cemento sono stati completati in 7 mesi. Tali lavori sono stati volutamente eseguite nella stagione invernale in modo da realizzare la posa delle strutture lignee all'interno dei mesi meno piovosi (primavera/estate).



Fig. 7.5 – Step di cantiere: realizzazione delle componenti in c.a. e primi piani in legno  
(Courtesy British Columbia University)

Mentre era in corso il completamento dei lavori umidi con particolare riferimento al core in calcestruzzo, le strutture opache e i relativi elementi strutturali in legno sono stati prefabbricati contemporaneamente da produttori separati entro un arco di tempo di 3 mesi. La stessa committenza e il team di progetto sin dall'inizio hanno cercato di massimizzare l'utilizzo della prefabbricazione in quanto riduce i tempi di edificazione del fabbricato, aumenta la produttività e rende più snelle le operazioni di montaggio.

La velocità di montaggio delle squadre presenti in cantiere ha permesso la realizzazione di due piani per settimana: tale operazione naturalmente includeva sia il montaggio dell'ossatura che dei pannelli prefabbricati. Gli stessi, volutamente e per facilitare le operazioni di controllo in cantiere, sono stati realizzati con il lato interno aperto in modo da permettere tanto al direttore lavori che al costruttore un rapido accesso alle strutture.

Nella figura sotto riportata, si riporta una analisi della produttività di una squadra relativamente al montaggio dell'ossatura portante in legno (per i pannelli CLT è aumentata da 8,9 m<sup>2</sup> /h di lavoro al terzo piano a 29,2 m<sup>2</sup> /h al

quattordicesimo piano). Una tendenza analoga nella produttività si è verificata per i pannelli dell'involucro, che sono aumentati da 6,84 m<sup>2</sup> /h di lavoro al terzo piano a 15,59 m<sup>2</sup> /h al quindicesimo piano.

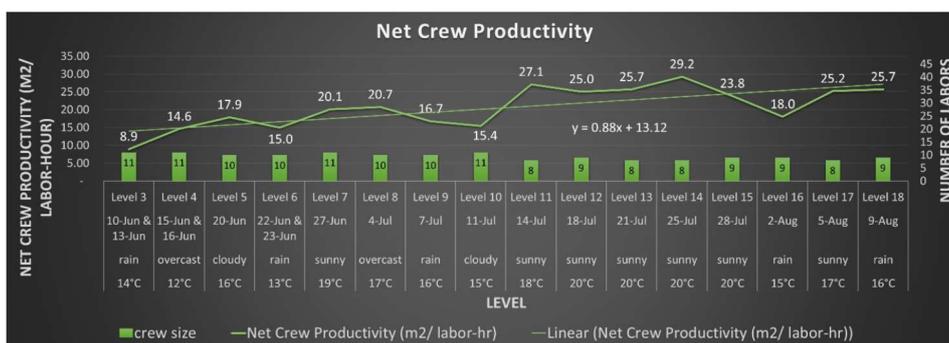


Fig. 7.6 – produttività delle squadre di montaggio: la stessa produttività è aumentata progressivamente con il crescere della familiarità della soluzione costruttiva (Courtesy British Columbia)

### 7.2.2 COMPONENTI UMIDE DEL CANTIERE: REALIZZAZIONE

Le fondamenta dell'edificio, così come il piano terra e il primo nonché i due nuclei dei vani scale / ascensore sono stati realizzati in cemento armato. La lastra del primo piano funge da lastra di trasferimento, ossia trasferisce il carico di gravità dalla struttura in legno di livello superiore alla struttura in cemento di livello inferiore. A seguito del getto, i collegamenti in acciaio per le colonne in legno lamellare sono stati installati perforando il calcestruzzo e inserendo gli opportuni ancoraggi e/o piastre per il montaggio della medesima struttura lignea.

Il core in c.a. è stato concepito e realizzato al fine di resistere alle forze orizzontali, siano queste vento e sisma. Il subappaltatore coinvolto nei lavori di realizzazione dei getti in calcestruzzo ha realizzato degli appositi casseri al fine di poter consentire la realizzazione di due piani alla volta (vedi figura 7.7).



Fig. 7.7 – fase di realizzazione dei nuclei in calcestruzzo (Courtesy British Columbia)

### 7.2.3 REALIZZAZIONE DELL'OSSATURE PORTANTE IN LEGNO

La struttura in legno dell'edificio è realizzata da solai in CLT e elementi verticali in GLT e PSL (Parallel Strand Lumber) con già inserite le piastre metalliche di collegamento. Attraverso linguaggi CAD- CAM sono state successivamente realizzate le lavorazioni al fine di consentire la posa in opera di tali elementi strutturali. I connettori metallici sono stati oggetto di una produzione entro uno stabilimento terzo e successivamente montati sugli elementi verticali dallo stesso produttore di GLT/PSL. Il processo di tracciabilità è stato realizzato tenendo un codice univoco per ogni singolo elemento prodotto

in modo da tenere sotto controllo la qualità e le relative tolleranze di montaggio. I programmi di carico e scarico della merce sono stati accuratamente concordati con tutti gli attori coinvolti nella realizzazione dell'opera in modo da favorire processi ripetitivi che potessero aiutare le squadre di montaggio nel prendere familiarità con la tecnologia costruttiva realizzata.



Fig. 7.8 – Installazione delle piastre metalliche sugli elementi verticali in legno dell'opera (Courtesy British Columbia)

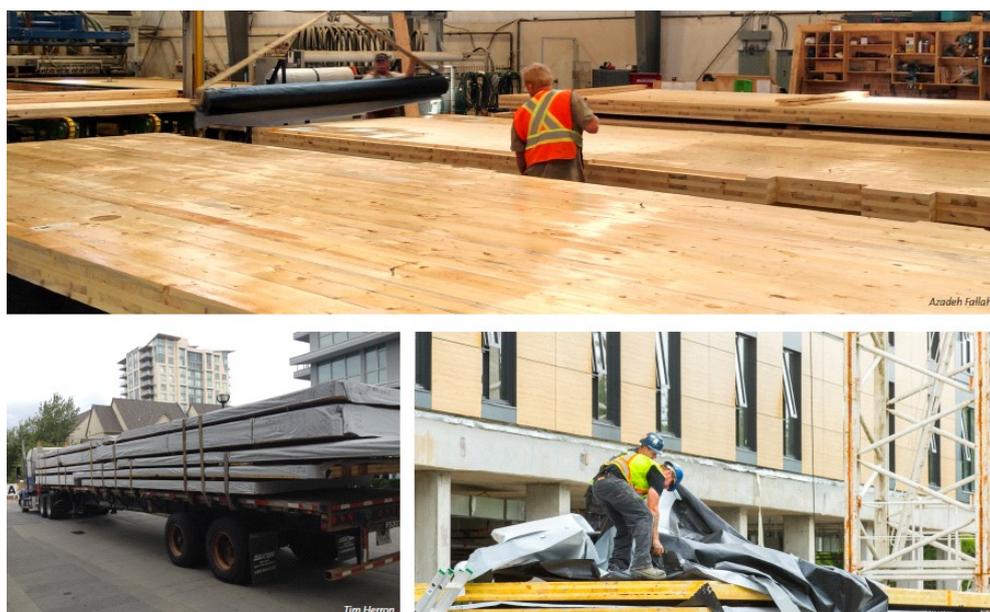


Fig. 7.9 – produzione dei pannelli in CLT, trasporto e fase di scarico della merce (Courtesy British Columbia)

Per quanto riguarda l'installazione dei pannelli CLT, questi sono stati posti in posizione attraverso l'utilizzo di quattro punti. Gli stessi fori di sollevamento sono stati realizzati in stabilimento. La posa – al fine di facilitare le operazioni alle squadre di montaggio – prevedeva che un lembo del pannello potesse essere abbassato prima dell'altro; la messa in posizione era poi successivamente realizzata attraverso un puntatore laser. Al fine di trasferire i carichi al core in c.a. sono state realizzate piastre metalliche ad hoc.

In relazione agli elementi verticali, la connessione cilindrica d'acciaio di ciascuna colonna superiore è stata quindi inserita all'interno della connessione della colonna inferiore e fissata successivamente con un perno. Il costruttore ha sviluppato un sistema innovativo per posare le colonne perimetrali in via automatica; al contempo le colonne interne sono state posizionate e sollevate manualmente. Infine – prima della posa del pannello CLT del piano superiore – sono stati posti in opera supporti diagonali per impedire alle colonne di ruotare o inclinarsi.



Fig. 7.10 – montaggio e particolari di connessione tra elementi in CLT e core in c.a. (Courtesy British Columbia)

Durante la realizzazione sono state previste delle misure di protezione dei solai attraverso l'utilizzo di guaine traspiranti.



Fig. 7.11 – particolare di montaggio degli elementi in GLT (Courtesy British Columbia)

Il montaggio delle strutture prefabbricate che costituiscono l'involucro dell'opera sono state eseguite dall'interno e in assenza di ponteggi. Per tutti i lavoratori sono state previste apposite imbracature a garanzia della sicurezza.



Fig. 7.12 – Fase di montaggio delle strutture prefabbricate e misure di protezione delle squadre  
(Courtesy British Columbia)

#### 7.2.4 GESTIONE DEL RISCHIO DI INCENDIO

Per tutta la fase di cantiere sono state osservate le prescrizioni del piano di sicurezza dedicato a mitigare il rischio di innesco incendio. Inizialmente era stato previsto di incapsulare gli elementi in legno attraverso l'uso di lastre in cartongesso. Attraverso un confronto con le autorità e al fine di consentire l'eventuale asciugatura dei pannelli in legno a seguito di eventi meteorici imprevisti è stata consentita la posa degli elementi in legno in assenza di cartongesso sino a 6 piani di altezza.

Altre misure antincendio adottate all'interno del presente cantiere sono state:

- Installazione nel core in c.a. delle condutture per il trasporto dell'acqua in modo che i Vigili del Fuoco potessero "caricarle" e utilizzarle velocemente;
- Il sito di cantiere è stato tenuto sempre pulito da eventuali scarti di lavorazione. Ciò ha permesso una riduzione dei rischi di innesco;
- Tutte le lavorazioni a caldo sono state realizzate attraverso un'apposita procedura e comunque mai entro le due ore serale alla chiusura del cantiere.
- Entro particolari siti di cantiere sono state poste delle porte tagliafuoco e allo stesso modo indentificati chiari percorsi di fuga per il personale presente in cantiere.



Fig. 7.12 – elementi in legno senza protezione  
(Courtesy British Columbia)



Fig. 7.13 – posa dei pannelli in cartongesso  
(Courtesy British Columbia)



Fig. 7.14 – Vista dell’opera finita (Courtesy British Columbia)

## 7.2.5 CANTIERE E UMIDITÀ

All’interno del cantiere del Brock Commons sono state utilizzate precauzioni al fine di evitare il manifestarsi di agenti biotici di degrado con particolare riferimento ai funghi. Tali misure di protezione, realizzate principalmente attraverso l’uso di teli traspiranti e l’installazione di elementi prefabbricati a protezione della stessa struttura in legno, è stata accompagnata da strumenti di monitoraggio della stessa umidità degli elementi legnosi posti in opera.

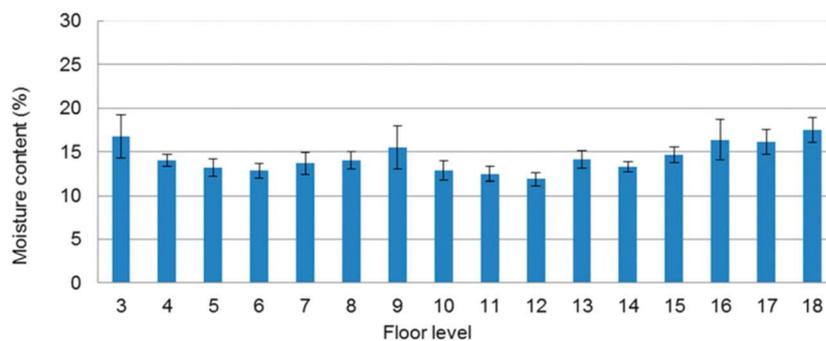


Fig. 7.15 – Livelli di umidità raggiunti dei solai durante la realizzazione (18 piani). Le barre indicano gli errori dello strumento utilizzato in cantiere (igrometro a resistenza elettrica) (Courtesy British Columbia)

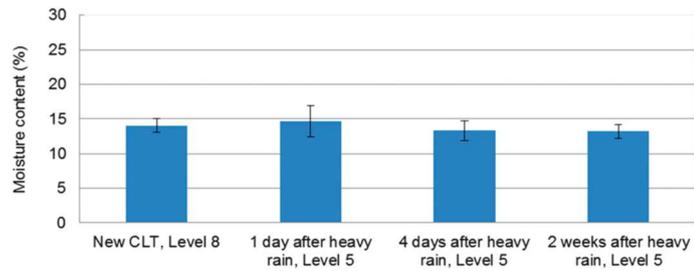


Fig. 7.16 – Livelli di umidità dei pannelli CLT subito a seguito dell’installazione (piano 8); per i pannelli al piano 5 sono state prese misure di controllo dell’umidità dopo un 1 giorno a seguito dell’evento meteorico imprevisto, dopo 5 giorni e dopo 2 settimane (courtesy British Columbia).

A seguito delle esperienze maturate, si può affermare che a misure di protezione passiva contro gli agenti atmosferici, diviene necessario affiancare tecniche di monitoraggio a carattere periodico (a seguito di eventi piovosi, ad es.) al fine di appurare la tenuta delle membrane e al contempo prendere decisioni circa azioni correttive da tenere (ad es. implementare le stesse protezioni del cantiere) e definire (rimodellandolo se necessario) il cronoprogramma delle opere.

## 8 MANUTENZIONE DI UN EDIFICIO IN LEGNO: UN ESEMPIO DI LIBRETTO

Tutti gli edifici necessitano di cura e manutenzione, indipendentemente dalla tipologia costruttiva e dalla funzione che devono svolgere. Ma le modalità con cui la manutenzione deve essere programmata ed attuata sono correlate alle effettive condizioni di impiego e alla natura dei materiali costruttivi scelti.

Entro tale analisi si è cercato di raccogliere buona parte delle casistiche che possono verificarsi in ambito ingegneristico e architettonico, precisando tempistiche e modalità di controllo delle varie porzioni costituenti l'edificio stesso. Tale documento quindi può costituire per le aziende del settore un primo riferimento per una successiva personalizzazione in funzione delle peculiarità realizzative dell'opera.

Il Piano di Manutenzione è infatti un documento di fondamentale importanza nel disciplinare l'esercizio dell'opera di ingegneria e deve essere considerato a tutti gli effetti come elaborato complementare al progetto esecutivo. Nel presente lavoro tecnico-normativo è stata inoltre sottolineata l'importanza della figura del committente: unica figura con potere decisionale di spesa durante la vita dell'edificio e responsabile (in via semplicistica) della sicurezza dei lavoratori incaricati.

Proprio per questo motivo il Piano di Manutenzione proposto di seguito è stato organizzato in maniera semplice ed intuitiva e comprende:

- **Il Manuale d'uso**

Il principale scopo di tale porzione è evitare danni derivanti da un'utilizzazione impropria e far conoscere all'utente le operazioni atte alla conservazione del bene;

- **Il Manuale e Programma di Manutenzione**

Il manuale di manutenzione deve fornire, in relazione alle diverse unità tecnologiche dell'edificio, alle caratteristiche dei materiali o dei componenti interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione nonché per il ricorso ai centri di assistenza o di servizio, individuandone periodicità di controllo.

Per ogni voce inserita ("unità tecnologica") sono descritte in maniera analitica le operazioni da compiere per un monitoraggio dell'edificio, inquadrando dei possibili "alert" che suggeriscono al committente di contattare un tecnico o impresa specializzata per un approfondimento diagnostico e definendo successivamente eventuali azioni di correttive e di consolidamento dell'opera.

### 8.1 INTRODUZIONE E CONCETTI GENERALI

Il Piano di Manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione della struttura dell'edificio al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico. Esso è composto dal Manuale d'Uso, dal Programma di Manutenzione e dal Manuale di Manutenzione.

Il Piano di Manutenzione è indirizzato agli utenti dell'opera; si descrivono i modi d'uso, i controlli e gli interventi che devono essere eseguiti, differenziando quelli che possono essere eseguiti dagli stessi utenti oppure devono essere eseguiti da personale con specifica competenza.

Nel caso si parli di edificio a carattere residenziale privato (NTC 2018 – par. 2.4.1 "Vita Nominale di Progetto"), la struttura è stata progettata per una vita nominale di progetto di 50 anni, purché l'edificio venga utilizzato secondo quanto descritto nel Manuale d'Uso e vengano eseguite le ispezioni e manutenzioni pianificate nel Programma di manutenzione ed eseguite secondo il Manuale di Manutenzione.

In caso di dubbi sull'applicazione del presente documento o in presenza di fatti non previsti, è necessario consultare il Progettista delle Strutture o altro Tecnico Ingegnere, Architetto, Dottore Forestale o Geometra nell'ambito delle specifiche competenze. Allo stesso modo il costruttore è la figura che ha seguito tutte le fasi della realizzazione dell'opera

e può fornire indicazioni su come meglio procedere al fine di fornire possibili soluzioni a questioni aperte nel corso della vita dell'abitato.

È bene precisare sin da subito che la manutenzione di una casa include regolari ispezioni a carattere stagionale, annuale e una tantum. Di seguito sono riportati i principali suggerimenti per identificare alcune delle più comuni regole di comportamento per procedere ad una corretta manutenzione del fabbricato. Controllare visivamente lo stato di salute con cadenze regolari è il miglior modus operandi per evitare brutte sorprese nel medio periodo e interventi di ripristino costosi.

Come proprietario (conduttore) di casa hai delle responsabilità in materia di manutenzione ed avere a disposizione una check list delle azioni da intraprendere nel corso del tempo può sicuramente aiutarti a gestire il tuo budget e dedicarlo agli interventi che realmente sono necessari per garantire la corretta funzionalità impiantistica, strutturale e di confort.

Nel seguito si utilizzeranno i seguenti termini:

- Tecnico: Ingegnere, Architetto, Dottore Forestale o Geometra nei limiti delle specifiche competenze.
- Conduttore: Utilizzatore dell'immobile a qualunque titolo; nel caso l'immobile non venga utilizzato, le ispezioni e le manutenzioni devono comunque essere eseguite secondo il programma di manutenzione a cura del Proprietario.

Riferimenti normativi: Legge quadro in materia di lavori pubblici (D.Lgs.163/2006 e s.m.i.); regolamento di attuazione (DPR 207/2010 e s.m.i.) art.38; Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018 e Circolare Esplicativa n° 617 del 02/02/2009).

## 8.2 LA SICUREZZA DURANTE LE OPERAZIONI DI ISPEZIONE E MANUTENZIONE

Secondo il D.Lgs. 81/2008 e s.m.i., il "committente" è il soggetto con potere decisionale di spesa per conto del quale vengono realizzati dei lavori edili, può essere il proprietario di casa, il conduttore e, nel caso di condominio, l'Amministratore.

Il Committente è sempre responsabile della sicurezza dei lavoratori sia se i lavori vengono eseguiti in economia diretta o attraverso artigiani ma anche se appaltati ad una Ditta; il Decreto anzi citato attribuisce a lui specifiche responsabilità ed obblighi con risvolti sia civili che penali.

In generale il Committente deve valutare l'organizzazione e la capacità dei lavoratori in funzione della pericolosità della prestazione richiesta, deve controllare che siano utilizzate idonee attrezzature e dispositivi di sicurezza e vietare l'esecuzione dei lavori qualora ravvisi una mancanza di sicurezza o quando il lavoratore non voglia adottare idonee misure di protezione.

Vista la complessità della materia, per la gestione della sicurezza si consiglia di affidarsi ad un Tecnico abilitato specialmente se si debbano appaltare ispezioni e manutenzioni per le quali è necessario utilizzare scale e ponteggi, si debba transitare sul tetto, si debbano utilizzare attrezzature pericolose ed in generale in tutti i casi in cui si ravvisi un seppur minimo pericolo per i lavoratori.

## 8.3 MANUALE D'USO

Il Manuale d'Uso fornisce indicazioni su come deve essere utilizzato l'edificio ed i comportamenti da adottare qualora l'edificio necessiti di trasformazioni.

### 8.3.1 CARICHI

**Perché?** Al fine di assicurare che gli elementi portanti lavorino correttamente durante la fase di esercizio.

**Quando?** Ogni qual volta si renda necessario a seguito di variazioni alle strutture, finiture e destinazione dei singoli locali.

**Come?** La struttura è stata progettata per i carichi esposti nella "Relazione di calcolo". I carichi pertanto non potranno superare i valori espressi. Ogni aumento di carico, permanente e/o di esercizio, deve essere oggetto di specifica verifica ed asseverazione da parte di un Tecnico Ingegnere o Architetto. La variazione delle strutture e delle finiture potrebbe incidere sulle prestazioni meccaniche e sulla durata dell'opera. Di conseguenza tale variazione deve essere attentamente valutata ed asseverata da un Tecnico Ingegnere o Architetto.

Il solaio del piano sottotetto si ritiene praticabile per sola manutenzione se non espressamente indicato nella "Relazione di calcolo". Il cambio di destinazione d'uso di uno o più locali deve essere valutato e asseverato da un Tecnico Ingegnere o Architetto che ne verifichi la compatibilità con le proprietà della struttura sia in termini di resistenza statica e sismica che di durabilità e prestazioni antincendio.

In copertura si permette l'installazione di impianti quali pannelli solari e/o fotovoltaici solamente nel caso in cui siano previsti e computati nella "Relazione di calcolo" e se i solai su cui sono posti in opera sono verificati per sopportarne il carico. La loro esatta ubicazione in copertura, se non diversamente identificata nelle Tavole Progettuali, deve essere concordata insieme ad un Tecnico Ingegnere o Architetto.

Soppalchi e strutture di tipo pesante (ad esempio serbatoi, macchine, impiantistica in genere, ecc.) devono essere verificati da un Tecnico Ingegnere o Architetto, soprattutto in riferimento alla struttura su cui vengono posti in opera.

### 8.3.2 FORATURE

**Perché?** Al fine di preservare la struttura e l'impermeabilizzazione.

**Quando?** Ogni qual volta si verifichi la necessità di forare le opere di impermeabilizzazione e/o di tenuta all'aria.

**Come?** Le forature per il passaggio di impianti devono essere sempre soggette all'asseverazione di un Tecnico, ad eccezione di sporadici fori per passaggio di impianti di diametro inferiore a 3cm nei solai e nelle pareti interne; in tal caso è comunque necessario riferirsi a maestranze con specifica competenza (elettricisti, idraulici, ecc.) che possano valutare eventuali interferenze con gli impianti esistenti.

Qualora le forature interessino pareti esterne, queste sono comunque da evitare. Fermo restando quanto anzi detto, le forature esterne devono sempre comportare il ripristino della continuità dei teli di tenuta all'aria ed all'acqua, nonché delle finiture, in particolare quelle esterne per non compromettere la tenuta all'acqua.

I fori di qualunque diametro posti nei pilastri e nelle travi devono sempre essere asseverati da un Tecnico.

Rimangono oggetto di approvazione anche le relative pendenze e particolari di riferimento degli elementi di ingresso nelle pareti esterne al fine di non facilitare l'ingresso di acqua piovana all'interno del cappotto o comunque all'interno del pacchetto costruttivo.

Ricorda che nei bagni le pareti sono datate di impermeabilizzazione sotto le piastrelle; l'installazione di accessori che richiedono fori nei muri deve essere effettuata iniettando nei fori idoneo sigillante prima dell'inserimento dei tasselli e delle viti.

L'installazione di canne fumarie è una operazione particolarmente delicata in quanto interferisce sia con le impermeabilizzazioni che con le opere di tenuta all'aria. Sulle strutture di legno, al fine di prevenire gli incendi, l'installazione deve prevedere particolari coibentazioni nei confronti delle parti in legno sia adiacenti che attraversate, ventilazione delle intercapedini e in generale materiali adeguati ed uno specifico progetto.

### 8.3.3 ARREDI

**Perché?** Al fine di garantire la sicurezza del conduttore contro il ribaltamento degli stessi.

**Quando?** Se si ha la necessità di fissare arredi a muro.

**Come?** In generale i normali mobili d'arredamento possono essere fissati con viti da legno alle strutture di legno quali pannelli Xlam, travi e pilastri. Nel caso l'edificio sia costruito con il sistema costruttivo Platform Frame si prescrive che i mobili debbano essere fissati con viti da legno in corrispondenza dei montanti delle pareti e non sui pannelli di chiusura degli stessi montanti.

In presenza di controparete di cartongesso o fibrogesso con intercapedine (vano tecnico) particolare attenzione si dovrà prestare per non danneggiare l'impiantistica; è quindi necessario prendere visione della distribuzione impiantistica nei pertinenti elaborati rilasciati dal costruttore o dalla maestranza incaricata e/o utilizzare appositi strumenti in grado di rilevare la presenza di impianti; si fa presente che l'ancoraggio su pannelli è possibile solo per piccoli carichi (qualche decina di chilogrammi) utilizzando appositi tasselli e attenendosi alle prescrizioni riportate nella scheda tecnica del prodotto.

### 8.3.4 CONTROLLO DELL'UMIDITÀ E MICROCLIMA INDOOR (VENTILAZIONE)

**Perché?** L'eccesso di umidità nell'aria può provocare muffa sui rivestimenti interni, inoltre è necessario il ricambio dell'aria per il benessere degli occupanti.

**Quando?** Ogni qual volta venga prodotta umidità quali vapori e fumi di cottura, dopo aver usufruito della doccia o della vasca da bagno, dopo aver soggiornato per alcune ore e in funzione della concentrazione di persone negli ambienti (con la respirazione umana si rilascia nell'ambiente una consistente quantità di umidità).

**Come?** Se la tua casa non è dotata di impianto di ventilazione meccanica controllata (VMC), attraverso l'aerazione naturale (apertura delle finestre), altrimenti utilizzando correttamente il sistema VMC.

#### 8.3.4.1 Areazione naturale

In senso generale, per individuare il movimento dell'aria in un ambiente confinato è necessario considerare la distribuzione degli spazi e delle aperture in quanto esse determinano i flussi dell'aria stessa e la direzione prevalente del vento sulle superfici esterne. L'entità e l'efficacia dell'aerazione dipendono fortemente dalla direzione del vento. Aperture esterne poste a quote diverse possono modificare i movimenti di aria verticali generati dai gradienti termici interni. Inoltre l'umidità ambientale, come ampiamente documentato in letteratura scientifica di riferimento, influisce sulla formazione e proliferazione di agenti biologici (funghi, muffe ecc.) in aria, sulle superfici e all'interno dei materiali presenti (rappresentati da arredi, suppellettili e dagli elementi costituenti gli edifici, gli impianti ecc.).

È quindi importante arrivare a definire un piano di ricambio di aria all'interno dell'abitazione. Senza scendere in eccessivi tecnicismi, che dipendono anche dal numero di persone che occupano lo stesso ambiente confinato e dall'utilizzo dei locali, si suggerisce di operare almeno due o tre ricambi di aria quotidiani attraverso l'apertura di finestre e/o porte-finestre della propria abitazione nel seguente modo:

Descrizione	Durata
Forte areazione totale: finestre e porta completamente aperte, su lati opposti	1-5 minuti
Forte areazione parziale (solo alcuni locali): completamente aperte le finestre, chiusa la porta	5-10 minuti
Media areazione di alcuni locali: finestre semiaperte; porta chiusa	10-15 minuti
Areazione moderata: finestre e porte semiaperte (posizione a "ribalta" se disponibile)	15-20 minuti
Areazione moderata, progressiva: finestre semiaperte, porte chiuse	30-60 minuti

Nota: modalità con cui tipicamente si può ottenere il ricambio completo di aria. Le indicazioni sono generiche, suscettibili di cambiare in funzione della forma, dimensione e localizzazione dell'edificio e in funzione della . modalità di impiego dell'edificio e numero di persone presenti nell'abitazione.

Si fa presente che anche in inverno ed in presenza di nebbia risulta necessario ed efficace ricambiare l'aria interna con quella esterna; la presenza di nebbia all'esterno non è indice di maggior umidità dell'aria esterna rispetto a quella interna.

#### 8.3.4.2 Ventilazione meccanica controllata

In questo caso i ricambi di aria vengono preimpostati sull'impianto VMC in modo da garantire comfort abitativo e risparmio energetico. Contestualmente pulire il proprio impianto di VMC è un'operazione che, oltre a garantire salubrità agli ambienti interni, mantiene efficiente l'apparato. A tal proposito, per mantenere l'impianto in buone condizioni bisogna effettuare la pulizia dei filtri del recuperatore, dei tubi di aspirazione/espulsione e distribuzione dell'aria, box e pacco di scambio. Si consiglia di pulire i filtri almeno due volte all'anno (operazione da eseguirsi preferibilmente nei cambi di stagione). In relazione invece alle tubazioni si consiglia l'utilizzo di sonde di varia lunghezza dotate di spazzole di diverse forme e dimensioni (che possono essere reperite facilmente sul mercato). Si consiglia di eseguire la pulizia delle tubazioni ogni 2/3 anni a impianto funzionante.

È infine buona norma lasciare l'impianto di VMC sempre acceso.

Per approfondimenti in merito si consiglia di contattare il fornitore dell'impianto e seguire le indicazioni presenti sul manuale di istruzioni dell'impianto.

### 8.3.5 ACQUE METEORICHE: CANALI DI GRONDA E PLUVIALI

**Perché?** Per garantire che i canali di gronda siano efficienti nel tempo e non ci siano infiltrazioni di acqua nel tetto e nei pacchetti costruttivi.

**Quando?** Due volte l'anno (cambio di stagione) ed in occasione di eventi meteorici intensi.

**Come?** È sempre necessario avere attenzione nei confronti dei pluviali di scarico a terra delle gronde, nonché cercare di preservare la pulizia delle grondaie stesse: buona prassi è recidere rami di alberature presenti nell'intorno dell'abitazione (siano queste specie caducifoglie che sempreverdi) al fine di evitare che il deposito di fogliame possa ostruire i canali di scolo delle acque meteoriche. Allo stesso modo si deve evitare di porre elementi a terra che possono ostacolare il deflusso dell'acqua dal pluviale e che la stessa acqua non bagni la parte basale della struttura dell'edificio ma venga efficacemente allontanata da questo.

### 8.3.6 BOCHE DI AERAZIONE

**Perché?** Al fine di permettere un corretto ricambio di aria e lo smaltimento dell'umidità.

**Quando?** Due volte l'anno (cambio di stagione) o qualora necessario

**Come?** Per aerazione si intende il continuo ricambio dell'aria necessaria per smaltire l'umidità generalmente proveniente dal terreno; un accumulo di umidità può costituire una possibile fonte per un processo di degrado a carico delle strutture in legno. Rimandando ad ulteriori considerazioni all'interno della sezione dedicata alla manutenzione del fabbricato, entro la presente sede, si accenna all'importanza di mantenere libere da ingombri le bocchette di aerazione dei vespai, gattaiolati e scannafossi, e non introdurre nessun materiale che possa comprometterne la funzionalità. Controllare l'efficienza delle griglie di protezione contro l'ingresso di sporcizia e detriti.

### 8.3.7 GESTIONE DEL VERDE

**Perché?** Per ridurre la possibilità di infiltrazione di acqua nel pacchetto delle pareti e preservare la platea di fondazione.

**Quando?** Almeno una volta all'anno.

**Come?** Bisogna mantenere le corrette pendenze del terreno nell'intorno dell'abitazione; queste devono evitare che vi siano percorsi preferenziali dell'acqua in direzione dell'edificio. Durante la vita dell'edificio è altresì consigliato che siano mantenute (almeno nell'intorno dell'opera) delle pendenze corrette (almeno del 2%). Eventuali lavori di movimento terra del tuo giardino devono tenere conto di tale fattore e allo stesso tempo devono garantire che non vi siano accumuli di acqua nell'intorno delle pareti dell'edificio stesso.

Evitare inoltre di posizionare arbusti o piante perenni in adiacenza all'edificio: le relative innaffiature possono portare acqua a ridosso del fabbricato in posizioni fisse e causare con il tempo possibili problemi di infiltrazioni nei pacchetti costruttivi.

Si consiglia di non piantare alberi (o comunque arbusti) a distanza inferiore 4,5 m (verifica il regolamento comunale o la legislazione in materia) al fine di permettere agli stessi l'adeguato sviluppo dell'apparato radicale e non interferire con le opere di fondazione.

Particolare attenzione deve essere inoltre rivolta a posizionare e regolare i sistemi di irrigazione in modo da non investire le pareti del fabbricato con l'acqua distribuita da tale impianto.

Qualora ravvedessi pendenze non corrette che tendono a creare percorsi preferenziali dell'acqua meteorica nell'intorno alla parete, è necessario intervenire per correggere tale pendenza.

### 8.3.8 CAMINO E CANNA FUMARIA

**Perché?** Per garantire il corretto funzionamento e prevenire gli incendi.

**Quando?** Almeno una volta all'anno.

**Come?** Non bruciare all'interno del camino legno pressato, alberi di natale o elementi plastici o infiammabili; tenere la canna fumaria chiusa durante il non utilizzo del camino stesso per evitare perdite di calore o di raffrescamento. Nella canna fumaria si forma fuliggine e catrame, la formazione di quest'ultimo è accelerata se si utilizza legna umida; questi materiali ostruiscono il passaggio dei fumi e possono incendiarsi con conseguente danneggiamento della canna e, nei casi peggiori, incendio dell'edificio. Pulisci la canna fumaria almeno una volta l'anno; la frequenza della pulizia dipende dal

maggiore o minore utilizzo e dal combustibile utilizzato. Si consiglia di eseguire tale operazione antecedentemente la prima accensione della stagione.

Qualora la canna fumaria richieda un intervento di manutenzione straordinaria (riparazione, sostituzione), tenere presente quanto detto al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** “**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**”.

### 8.3.9 PREVENZIONE INCENDI

Il tuo edificio a struttura di legno, nei riguardi dell'incendio, non è più pericoloso rispetto a edifici con struttura realizzata con materiali non infiammabili; generalmente l'innesco dell'incendio avviene a causa di un guasto degli elettrodomestici o per l'utilizzo errato di fiamme libere, poi si propaga e si alimenta attraverso gli arredi ed i materiali infiammabili in essi contenuti.

Le strutture ne subiscono le conseguenze e, se infiammabili, possono contribuire ad alimentare l'incendio.

**Perché?** Per prevenire gli incendi.

**Quando?** Durante il normale uso dell'edificio.

**Come?**

Il camino di per sé non è una fonte di innesco, tuttavia è necessario seguire le indicazioni di cui al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** “**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**” a pagina **Errore. Il segnalibro non è definito.** e le seguenti semplici regole:

- Non caricare eccessivamente il camino, il calore trasmesso per irraggiamento può innescare l'incendio sugli oggetti posti a distanza.
- Non posizionare oggetti infiammabili nelle immediate vicinanze della bocca del camino.
- Non lasciare mai incustodito il camino acceso, se ti devi allontanare anche per pochi minuti è necessario chiudere la bocca del camino con uno schermo parascintille di dimensioni idonee: una poltrona investita da una scintilla può prendere fuoco in qualche decina di secondi.
- Posiziona la legna nel camino in maniera stabile, evita l'utilizzo di topi cilindrici e prediligi la legna spaccata che non rotola.
- Non stoccare la legna in posizioni che possono essere investite dalle scintille.

Il guasto degli elettrodomestici è una delle più frequenti cause di innesco degli incendi nelle abitazioni civili (in particolare i televisori); segui le seguenti regole:

- Posiziona gli elettrodomestici quali tostapane, grill, televisore, radio preferibilmente su tavoli o comunque sul ripiano più alto dei mobili in modo che sopra di essi non ci siano ulteriori ripiani infiammabili; in alternativa utilizza mobili metallici.
- Pulisci regolarmente le griglie di ventilazione degli elettrodomestici con l'aspirapolvere: la polvere è un ottimo innesco.
- Non lasciare trasformatori (alimentatori) in tensione su oggetti e mobili infiammabili.
- Se noti un riscaldamento anomalo di un elettrodomestico o di un trasformatore stacca subito la presa e fai controllare l'apparecchio da un tecnico.

Se hai una cucina a gas segui queste regole:

- Fai attenzione che i fornelli siano sufficientemente lontani da oggetti infiammabili; ricorda che le pentole molto larghe allargano anche la fiamma avvicinandola agli oggetti limitrofi.
- Non lasciare i fornelli accesi incustoditi.

## 8.4 PROGRAMMA E MANUALE DI MANUTENZIONE

La presente sezione indica le periodicità e le modalità con cui il committente, l'impiantista o il costruttore devono provvedere a supervisionare l'edificio e le azioni da eseguire periodicamente affinché si garantisca l'efficienza di tutta l'opera. Dopo ogni verifica e/o intervento di manutenzione o ispezione dovrà essere redatto un rapporto contenente il tipo di ispezione, i risultati dell'ispezione, gli interventi fatti, eventuali modifiche al piano di manutenzione ed eventuali prescrizioni d'uso.

Per il rapporto di verifica/intervento può essere utilizzata la "Scheda 1: Rapporto di ispezione e manutenzione".

Prima di un qualsiasi intervento di ispezione o manutenzione devono essere forniti dal conduttore al tecnico e/o azienda incaricata, i seguenti elaborati:

- o Progetto architettonico.
- o Progetto delle strutture ed esecutivi di montaggio.
- o Progetti degli impianti.
- o Note sulle modifiche effettuate all'edificio (struttura, finiture e impianti).
- o RegISTRAZIONI precedenti circa la manutenzione così come indicato all'interno del presente libretto di Uso e Manutenzione.

Tali documenti hanno l'obiettivo di definire eventuali peculiarità della realizzazione e relativi nodi costruttivi in modo da poter indirizzare l'attenzione verso determinati aspetti di carattere tecnologico e ingegneristico dell'opera oggetto di ispezione e monitoraggio.

Nel seguito sono indicate le ispezioni e manutenzioni che deve eseguire il conduttore e quelle da far eseguire ad un tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione; qualora il conduttore rilevi delle anomalie è necessario far intervenire tempestivamente una azienda in grado di risolvere tali problemi.

## 8.5 ESTERNO DELL'ABITAZIONE

### 8.5.1 IL TETTO

Il tetto (o copertura) è l'elemento principale per la difesa dall'acqua meteorica dell'edificio e merita una cura particolare. Le infiltrazioni possono provocare non solo il deterioramento degli isolanti con conseguente perdita di efficienza termica, ma anche il degrado delle strutture di legno con conseguente perdita di sicurezza statica dell'edificio.

Si sottolinea che è vietato per il conduttore camminare sulla superficie del tetto: oltre a concetti legati alla salvaguardia della sicurezza, si evitano così di rompere involontariamente tegole o elementi di protezione alla copertura. Per poter accedere sui tetti e in generale a zone non dotate di idoneo parapetto, è necessario aver ricevuto una specifica formazione per i lavori in quota, essere dotati dei necessari dispositivi di protezione individuale, aver consultato l'Elaborato Tecnico della Copertura ed aver controllato l'efficienza delle linee vita installate in copertura. Le linee vita necessitano di specifici controlli e manutenzioni specificati all'interno dell'Elaborato Tecnico della Copertura a corredo del progetto dell'edificio. Il Conduttore deve consegnare al tecnico e/o all'azienda incaricata alla manutenzione l'Elaborato Tecnico della Copertura e si deve accertare che gli operatori siano dotati di abilitazione ai lavori in quota ai sensi degli articoli 27 e 77 del D.LGS 81/2008 e s.m.i.

#### 8.5.1.1 Tetti a falde

**Perché?** Per identificare tutto ciò che potrebbe provocare problemi e infiltrazioni.

**Quando e come?**

#### Per il Conduttore

Almeno due volte all'anno e qualora si verifichi un evento meteorico o episodio ventoso eccezionale.

Ispeziona il tetto, negli sporti di gronda o nelle parti visibili da terra o da eventuali finestre a tetto o abbaini, camminando lungo tutto il perimetro dell'abitazione. Fai attenzione a possibili rotture di tegole, tegole mancanti (facilmente riscontrabili per la presenza di detriti a terra) o spostate.

Si ricorda che variazione di colore delle estremità delle travi di un oggetto di gronda è un fattore da considerarsi normale, in quanto le stesse travi sono parzialmente esposte agli agenti atmosferici e non deve destare comunque preoccupazioni

di carattere strutturale per gli elementi che costituiscono l'orditura stessa; in caso di dubbio si raccomanda di contattare un tecnico o delle maestranze specializzate alla manutenzione.

Qualora si riscontrino i problemi anzi descritti, è necessario far intervenire un'azienda in grado di risolvere il problema entro una settimana.

#### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

*Almeno una volta all'anno e qualora si verifichi un evento meteorico o episodio ventoso eccezionale.*

Eseguire un controllo accurato di tutto il manto per identificare eventuali rotture o mancanze di tegole o sconnesione delle stesse.

Controllare l'efficienza delle guaine, delle sigillature e dei risvolti in corrispondenza delle parti sporgenti quali camini, abbaini, antenne, parafulmini, sfianti, ecc.

#### 8.5.1.2 Tetti piani

E' importante tenere traccia della posizione ed estensione delle zone di ristagno; eventuali variazioni possono indicare problemi al manto di copertura ed alle impermeabilizzazioni.

#### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

*Almeno una volta all'anno e qualora si verifichi un evento meteorico o episodio ventoso eccezionale.*

E' necessario identificare i percorsi preferenziali con cui l'acqua tende ad allontanarsi dalla superficie del tetto, verificando che non vi siano detriti che ostacolano tali percorsi.

Mappare la posizione ed estensione delle zone di ristagno; eventuali variazioni possono indicare problemi al manto di copertura ed alle impermeabilizzazioni in termini di infiltrazioni verso il basso e variazioni di pendenza (anche locale) della copertura.

È importante arrivare a controllare la copertura a seguito di nevicate (rimuovendo eventuali carichi eccessivi) e controllare contestualmente che non si creino le condizioni di scarsa impermeabilizzazione del manto; l'alternanza gelo-disgelo potrebbe creare i presupposti per una separazione dei diversi materiali posati nel pacchetto di copertura e favorire le infiltrazioni all'interno della copertura stessa.

Dovranno essere prese in considerazione le condizioni di:

- Guaine poste a protezione del tetto piano.
- Giunti tra guaina e guaina e loro saldatura (controllare se efficiente o meno).
- Definire particolari aree di saggio per verificare lo stato dell'isolante e se questo presenta umidità anomale per quanto riguarda eventuali microfessure non visibili ad occhio nudo. Qualora si avessero dubbi diffusi sulla tenuta del tetto piano si consiglia di eseguire un'ulteriore indagine svolta tramite l'ausilio di igrometri ad impedenza o altro strumento in grado di segnalare eventuali discontinuità che possono provocare infiltrazioni verso il basso.
- Il distacco e dissesto delle piastrelle posate su di un massetto è indice di potenziali infiltrazioni; in tal caso non ci si deve limitare a ricollocare le parti distaccate ma va ripristinata l'intera impermeabilizzazione sotto piastrella generalmente realizzata con malta impermeabile flessibilizzata.
- Gronde: pendenza e accumulo di detriti: vedi sezione corrispondente del presente manuale.

*Ogni dieci anni.*

Eseguire un accurato controllo di tutto il sistema di impermeabilizzazione e smaltimento delle acque e valutare la necessità di radicale sostituzione dello stesso.

Si faccia riferimento anche a quanto scritto al § "Errore. L'origine riferimento non è stata trovata."

Nel caso il sistema di impermeabilizzazione e smaltimento risulti ancora efficiente e si decida di non sostituirlo, ripetere questo controllo ogni due anni.

#### 8.5.1.3 Tetti verdi

**Perché?** Per identificare tutto ciò che potrebbe creare problemi e infiltrazioni.

**Quando?** Almeno due volte all'anno e qualora si verifichi un evento meteorico o episodio ventoso eccezionale.

**Come?** Vale quanto indicato precedentemente per i tetti piani sia a carico del conduttore che per le maestranze specializzate alla manutenzione.

Anche in questo caso si sottolinea che la presente tipologia di copertura necessita di cura nella manutenzione. Oltre a quanto indicato sopra è bene sottolineare che nei tetti a verde è necessario provvedere alla cura delle piante al fine di non creare le condizioni per ostruzioni al deflusso delle acque meteoriche. Un controllo due volte l'anno (in corrispondenza della primavera / autunno) è un'operazione da considerarsi minima al fine di mantenere la funzionalità del tetto verde. La scelta delle piante (come la loro sostituzione in caso di necessità) da utilizzare deve sempre essere effettuata in accordo con un tecnico specializzato in materia (il Dottore Agronomo e il Dottore Forestale sono le figure professionali più indicate per definire la composizione floristica adeguata al tetto verde). Piante non consone ad essere posate in copertura possono danneggiare con i loro apparati radicali il manto di protezione del tetto.

### 8.5.2 ISPEZIONE DELLE GRONDE, PLUVIALI E SMALTIMENTO ACQUE METEORICHE

**Perché?** Per verificare il corretto funzionamento delle linee di scolo delle acque meteoriche e preservare la struttura da eventuali infiltrazioni.

È importante mantenere pulite ed efficienti le gronde ed i pluviali che potrebbero intasarsi per l'accumulo di foglie e detriti in genere.

Rimuovere detriti e fogliame depositato significa contribuire al corretto smaltimento delle acque meteoriche e contribuire a rendere efficiente la tua casa a struttura in legno.

**Quando e come?**

#### Per il Conduttore

*Durante il normale uso dell'edificio e qualora si verifichi un evento meteorico o episodio ventoso eccezionale.*

Si consiglia di camminare lungo il perimetro dell'edificio prestando attenzione al colore delle travi della gronda del tetto; circoscritte anomalie di colore in particolari punti possono rivelare una non corretta pendenza dei canali di gronda.

In concomitanza delle piogge si raccomanda di controllare il corretto deflusso delle acque alla base dei pluviali e che non ci sia sversamento laterale dai canali di gronda.

#### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

*Almeno una volta all'anno e qualora si verifichi un evento meteorico o episodio ventoso eccezionale.*

Controllare dall'alto tutti i canali di gronda, controllare la pendenza e l'efficienza versando acqua direttamente sul tetto.

In considerazioni delle osservazioni provenienti dal conduttore, ma soprattutto a seguito del controllo, si possono definire i seguenti interventi:

- **Intervento conservativo:** pulizia ed asportazione dei residui di fogliame e detriti depositati nei canali di gronda, rimozione di eventuali nidi di volatili. Pulizia o sostituzione delle griglie paraghiaia e parafoglie dai bocchettoni di raccolta. Pulizia dei pozzetti alla base dei pluviali mediante asportazione di fanghi di deposito e lavaggio con acqua in pressione.
- **Intervento curativo:** reintegro di canali di gronda, dei pluviali, dei bocchettoni di raccolta e di elementi di fissaggio che presentino rotture o zone corrose, deformazione, danneggiamenti che impediscano la corretta funzionalità, mediante sostituzione localizzata dell'elemento ripristinando la continuità con gli altri elementi con idonei sigillanti. Sostituzione o riparazione dei pozzetti di raccolta delle acque posti alla base delle pluviali. Ripristino delle pendenze agendo sulle cicogne. Se si ravvede difficoltà nel processo di smaltimento o completa ostruzione dei pluviali si deve provvedere a smontare la parte terminale del pluviale all'altezza del primo collarino per procedere attraverso sonde a rimuovere eventuali detriti presenti nel pluviale.

### 8.5.3 CAPPOTTO E SUPERFICI ESTERNE DELL'EDIFICIO

**Perché?** Per mantenere l'aspetto estetico dell'abitazione e garantire l'adeguata protezione contro gli agenti atmosferici.

Le superfici esterne di rivestimento o l'intonaco stesso dell'edificio è da ritenersi a tutti gli effetti materiale di sacrificio che ha l'importante funzione di proteggere la struttura dalle intemperie in modo da rendere l'opera efficiente sotto un punto di vista strutturale, acustico e termico.

Gli intervalli di manutenzione dipendono molto dalla protezione costruttiva contro le intemperie (assenza o presenza dell'aggetto di gronda più o meno pronunciato), dalla esposizione agli agenti atmosferici, dalla polvere, dall'inquinamento, dalle caratteristiche degli intonaci di finitura e dei rivestimenti utilizzati (con riferimento rispettivamente alle norme di prodotto EN 998-1 e EN 15824), dalla localizzazione dell'edificio e dalla esposizione delle facciate.

#### Quando e come?

##### Per il Conduttore

Durante il normale uso dell'edificio e comunque a intervalli non superiori da 1 a 5 anni in funzione delle condizioni di esposizione.

Eeguire l'ispezione camminando lungo il perimetro esterno dell'abitazione; tale monitoraggio a vista è di fondamentale importanza per garantire una razionale manutenzione dell'abitazione nel tempo: infatti pioggia, grandine e variazioni di temperatura (principalmente) possono causare screpolature, desquamazioni e deformazioni dello stato di rasatura del cappotto, favorendo un possibile ingresso di acqua meteorica all'interno del pacchetto costruttivo. Identifica, nel tuo processo di monitoraggio, tutte le aree dove la rasatura ha ceduto o comunque laddove sono presenti crepe. La comparsa di una sostanza biancastra sulla superficie, nota come efflorescenza, può essere considerata normale e non desta preoccupazioni se di limitate dimensioni. Rivestimenti deformati, desquamazione negli stati di vernice e vesciche invece sono fattori da tenere sotto controllo e necessitano di una riparazione.

Si invita altresì il conduttore a prestare attenzione ai seguenti elementi:

- Sporczia (presenza a terra di detriti; rimuovere tali detriti in corrispondenza delle superfici orizzontali).
- Infestazione da alghe e funghi (oltre che discolorazioni, possono provocare fenomeni di invecchiamento accelerato dell'intonaco).
- Danni e fessurazioni sulla superficie del cappotto (infiltrazioni).
- Ermeticità dei raccordi e dei giunti di collegamento fra parti di diversa natura quali passaggi impiantistici, cambio di materiale del rivestimento, attacchi per pergolati, attacchi vari per lampade e tende, davanzali, ecc.; eventuali distaccamenti possono essere causare infiltrazioni all'interno del pacchetto.
- Piante vicino alle facciate (rimuoverle).
- Vicinanza a fonti di inquinamento o agenti aggressivi (la presenza di venti dominanti in combinazione con fonti di inquinamento possono favorire il deposito degli stessi in particolari aree dell'edificio).
- Esecuzione dei marciapiedi vicino alla zoccolatura e relativa pendenza (assicurarsi che la stessa tenda ad allontanare l'acqua meteorica dall'edificio).

##### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

A intervalli non superiori da 2 a 10 anni in funzione delle condizioni di esposizione.

Va condotta l'ispezione già descritta per il conduttore ma eseguita anche in quota mediante l'utilizzo di piattaforma aerea o ponteggio.

Si dovrà fare particolare attenzione alle zone sotto finestra e in corrispondenza di cornicioni, sporgenze, raccordi e dei giunti di collegamento fra parti di diversa natura quali passaggi impiantistici, cambio di materiale del rivestimento, attacchi per pergolati, attacchi vari per lampade e tende, davanzali, ecc.

Ove necessario va ripristinato lo strato di rasatura previa asportazione di quella esistente e ripristino della rete di armatura che va opportunamente sovrapposta a quella esistente; si presti particolare attenzione alle condizioni di temperatura e umidità dell'aria nonché all'esposizione al sole durante i lavori di ripristino, nel rispetto delle prescrizioni di applicazione contenute nella scheda tecnica del prodotto.

In presenza di organismi infestanti in facciata come alghe e funghi, è necessario prendere i necessari provvedimenti prima possibile, perché prima si adottano le misure adeguate e più facile è la loro rimozione. Per misure adeguate si intende la sterilizzazione delle superfici infestate. Le spore e le cellule dei microorganismi possono essere eliminate con specifici disinfettanti biocidi. Un aspetto fondamentale per la qualità delle facciate è quello di mantenerle asciutte: sulle parti correnti il compito è svolto dai rivestimenti di finitura e dalla corretta esecuzione dei collegamenti e delle strutture di

protezione (cornicioni, scossaline, davanzali ...). Arrivando nell'area dello zoccolo la soluzione per limitare gli effetti dannosi delle precipitazioni può essere costituita da una zona drenante che elimini gli accumuli d'acqua e limiti gli effetti della pioggia di rimbalzo: ciò si può realizzare per esempio con una fascia di terreno scavata e riempita di ghiaia in prossimità della parete.

Si rammenta che trattamenti superficiali (ad es. con intonaci "antimuffa") hanno solo la funzione di migliorare l'aspetto estetico della finitura ma che non risolvono l'eventuale problema riscontrato

Assicurarsi che le pendenze del terreno nell'intorno della abitazione tendano ad allontanare l'acqua dall'edificio e fondamenta (vedi anche § "Errore. L'origine riferimento non è stata trovata."); inoltre assicurarsi del corretto posizionamento degli irrigatori e che i getti d'acqua siano opportunamente indirizzati verso il giardino. Infine devono essere rimosse tutte le piante che sono germogliate a ridosso dell'abitato.

#### 8.5.4 BALCONI E AGGETTI

**Perché?** Per identificare tutto ciò che potrebbe provocare problemi e infiltrazioni.

I balconi (come tutti gli elementi a sbalzo della costruzione) necessitano di particolari cure al fine di mantenere la struttura efficiente nel tempo. Fenomeni quali le infiltrazioni di acqua meteorica possono recare danni, spesso "occulti" (soprattutto nei pacchetti chiusi non ventilati), agli elementi strutturali in legno, principalmente per effetto di migrazione prolungata di umidità verso gli strati interni del pacchetto costruttivo. In tali circostanze è frequente rilevare il problema quando ormai il fenomeno di degrado da parte di funghi è molto avanzato rendendo oneroso e complesso ripristinare la struttura oggetto di marcescenza.

**Quando e come?**

##### Per il Conduttore

*Durante il normale uso dell'edificio e comunque a intervalli non superiori a 2 anni e dopo eventi meteorici eccezionali.*

Trattandosi di impermeabilizzazione dei balconi, è importante saper leggere i principali sintomi delle infiltrazioni che possono essere considerati "alert", optando quindi per il rifacimento del terrazzo stesso (o parte di esso). Un primo segnale è la presenza di muffe ai bordi di attacco con la parete. Se è presente una muffa probabilmente in quella zona è presente un ristagno d'acqua che può derivare o da un difficile scolo dell'acqua meteorica o da fenomeni di risalita capillare. In ogni caso è importante prestare attenzione perché un'infiltrazione d'acqua può intaccare il rivestimento e l'intera struttura lignea. Attenzione deve essere data in corrispondenza dei fori architettonici, cioè le aperture nelle pareti in corrispondenza di portefinestre che si affacciano sul balcone, che possono risultare uno dei punti più frequenti dove si verificano fenomeni di marcescenza della struttura lignea. Manifestazioni quali il rigonfiamento della pavimentazione, può costituire un "sintomo" di una perdita di funzionalità dell'impermeabilizzazione.

Altro segnale è la presenza di macchie o il distacco totale o parziale dell'intonaco della superficie inferiore del terrazzo. Anche qui è probabile che l'acqua che scola dalla pavimentazione abbia inficiato le qualità fisiche e meccaniche del rivestimento con conseguente probabile perdita di funzionalità dell'ossatura portante in corrispondenza del nodo costruttivo del balcone.

Inoltre:

- Monitorare dall'intradosso del balcone medesimo (nel caso di pacchetto aperto del balcone con struttura a vista) e verificare se sono presenti slumacature biancastre lungo l'altezza degli elementi al fine di constatare se vi sono anomalie nei percorsi di deflusso delle acque meteoriche. Nel caso di pacchetto controsoffittato bisogna immediatamente intervenire qualora si riscontrino macchie di umidità.
- Il distacco e dissesto delle piastrelle posate su di un massetto è indice di potenziali infiltrazioni.
- Negli elementi a sbalzo in continuità con il solaio interno dell'abitazione è necessario verificare (con una semplice livella) che la pendenza sia verso l'esterno dell'abitazione; pendenza consigliata almeno il 3%.
- Parapetti e gocciolatoi: sono elementi costruttivi che devono essere oggetto di attenzione affinché la struttura non subisca con il tempo danni. A tal proposito è necessario verificare che, durante la pioggia, questi allontanino le percolazioni dall'edificio e che non risultino ostruiti.

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

A intervalli non superiori a 5 anni.

E' necessario, a seguito di una attenta osservazione del balcone, procedere a ripristinare il corretto funzionamento di ciascun livello di impermeabilizzazione, rendendo quanto più possibile indipendenti le stesse in termini di deflusso delle acque meteoriche.

Il distacco e dissesto delle piastrelle posate su di un massetto è indice di potenziali infiltrazioni; in tal caso non ci si deve limitare a ricollocare le parti distaccate ma va ripristinata l'intera impermeabilizzazione sotto piastrella generalmente realizzata con malta impermeabile flessibilizzata.

Per una programmazione delle attività di manutenzione, il tecnico, come l'azienda incaricata alla manutenzione, deve eseguire tutti i controlli previsti per il conduttore e prendere visione delle pendenze e se queste sono in linea con quanto definito all'interno del progetto. La corretta pendenza del balcone è da considerarsi infatti la prima e la più importante linea di difesa per mantenere la struttura efficiente in termini di durabilità. Si consiglia di verificare la pendenza in più punti distanti fra loro non più di 4 m e comunque alle due estremità del balcone ed almeno in una posizione centrale.

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

A intervalli non superiori a 10 anni.

Eeguire un accurato controllo di tutto il sistema di impermeabilizzazione e smaltimento delle acque e valutare la necessità di radicale sostituzione dello stesso.

Nel caso il sistema di impermeabilizzazione e smaltimento risulti ancora efficiente e si decida di non sostituirlo, ripetere questo controllo ogni due anni.

In merito all'argomento, se si ravvedano gli elementi (quali ad es. distaccamenti dei rivestimenti, segni di distacco dell'intonaco o macchie di muffa lungo il perimetro e nell'intorno del balcone) per cui è necessario provvedere ad una nuova impermeabilizzazione del balcone seguire le seguenti azioni, tenendo però presente che ogni intervento necessita di competenze peculiari e che la generalizzazione riportata può non trovare completa applicazione pratica:

- Nel rifacimento delle impermeabilizzazioni del balcone si consiglia la presenza costante di un Direttore Lavori in modo da fornire un supporto circa la corretta installazione degli elementi;
- È buona prassi raccordare le scossaline metalliche del nodo "porta-finestra" oltre lo stipite al fine di poter essere in continuità con la membrana (ad es. bituminosa) a protezione della struttura. In relazione alle medesime scossaline, in fase di montaggio, è da prestare massima attenzione affinché non si creino danneggiamenti dovuti al passaggio di carpentieri o altri operatori durante le successive fasi di cantiere;
- Attenzione a posare le guaine: i sormonti delle stesse devono essere posti in modo progressivo: in linea di principio i teli (e/o le guaine) devono essere installati, dal basso verso l'alto, effettuando sempre le sovrapposizioni in modo da favorire il deflusso dell'acqua evitando rischi di infiltrazione tra gli elementi posati. Percorsi inversi nella posa creano i presupposti per infiltrazioni e la stessa impermeabilizzazione perde la sua funzione di protezione degli stati sottostanti del pacchetto costruttivo. È importante che le giunzioni tra le membrane impermeabilizzanti siano ben sormontate e opportunamente sigillate, verificando che il sigillante fuoriesca dalle relative "cuciture" del manto a protezione della struttura; per quanto riguarda poi le stesse membrane è sempre buona norma installarle nelle dimensioni più grandi possibili così da minimizzare le sovrapposizioni, le cuciture ed i relativi punti di debolezza.
- Al tecnico o alle maestranze incaricate, si raccomanda di fornire disegni ben comprensibili alla posa degli elementi del nuovo pacchetto impermeabilizzante. Limitare le istruzioni di posa alla dicitura "i sistemi isolanti devono essere installati secondo le specifiche dei fornitori" solitamente non è sufficiente specie se le squadre di montaggio sono di tipo generico e non hanno ricevuto una formazione adeguata sul sistema di posa in oggetto.
- I montanti del parapetto possono risultare un punto di debolezza e contestualmente essere origine di fenomeni di marcescenza. Un primo accorgimento è sicuramente quello di fissare i montanti evitando di forare la guaina. In generale è opportuno che il fissaggio avvenga sul bordo frontale verticale del balcone e non sulla superficie orizzontale e che il meccanismo di aggancio abbia pendenza verso l'esterno con rompicocca.

- E' importante poi, anche attraverso l'utilizzo di "rompigoccia", che l'acqua piovana possa defluire verso l'esterno senza che sia consentito l'ingresso di acqua in corrispondenza delle testate degli elementi lignei.
- Prima di procedere con il getto del massetto è necessario procedere ad un'ispezione accurata della guaina, sigillando ogni foro rilevato in superficie. Allo stesso modo, in questa fase, può essere senz'altro utile effettuare un test di "allagamento". Si consiglia di non considerare la soletta in calcestruzzo e il pavimento come parte del "sistema di impermeabilizzazione" del balcone. Allo stesso modo la stessa soletta può svolgere un importante ruolo ausiliario nell'allontanare l'acqua dalla superficie del balcone medesimo proteggendo al contempo la guaina e le guarnizioni (naturalmente a patto che possieda la pendenza necessaria). L'impresa che esegue il getto deve curare la finitura del calcestruzzo così da garantire un deflusso delle acque piovane senza punti di ristagno. Il controllo di qualità sul calcestruzzo dovrebbe anche essere inteso a minimizzare la fessurazione dello stesso così da impedire il più possibile che l'acqua possa raggiungere lo strato impermeabile sottostante. A tal proposito si consiglia l'utilizzo di giunti di dilatazione che limitino le fessurazioni del calcestruzzo (a vantaggio della durabilità e dell'estetica del manufatto). Assicurarsi della corretta pendenza della rasatura del getto di calcestruzzo in modo che favorisca il deflusso delle acque meteoriche.
- Un'ulteriore guaina a protezione della soletta di calcestruzzo (resa indipendente in termini di deflusso delle acque meteoriche) può essere senz'altro utile al fine di garantire la tenuta della nuova impermeabilizzazione.
- Ricordarsi che ciascun livello di impermeabilizzazione deve essere indipendente e dotato di scarico.

### 8.5.5 FORI ARCHITETTONICI (PORTE, PORTE-FINESTRE E FINESTRE)

**Perché?** Per tenere lontano acqua, polveri, insetti.

Il bancale ha come scopo principale quello di proteggere dalle intemperie alcune parti del fabbricato. In particolare, esso ha la funzione di raccogliere le acque piovane dalle finestre e dalle facciate e di allontanarle dalla parete, impedendo che col tempo possano infiltrarsi nella parte di essa sottostante il serramento.

**Quando e come?**

#### Per il Conduttore

Durante il normale uso dell'edificio e comunque a intervalli non superiori a 1 anno.

Osservare, camminando lungo il perimetro esterno dell'abitazione, e porre attenzione ai nodi e alle impermeabilizzazioni presenti in corrispondenza dei fori architettonici dedicati ad accogliere "porte", "porte-finestre" e "finestre". Inoltre deve essere posta attenzione ai bancali (controllare tramite livella la pendenza del bancale che deve essere tesa ad allontanare l'acqua dalla parete) e alle eventuali fessurazioni che possono essere presenti nell'intorno del foro architettonico stesso (ad es. fessurazioni presenti sull'intonaco). Può capitare che le opere di impermeabilizzazione, nonché le opere di sigillatura degli infissi, possano subire con il tempo perdita delle loro proprietà elastomeriche: è quindi importante controllare (al tatto) che le giunzioni siano correttamente funzionanti e che non abbiano in superficie screpolature, distaccamenti (anche parziali) o fessurazioni che ne compromettano la loro funzionalità.

Sempre in merito all'argomento si consiglia di pulire le superfici esterne almeno una o due volte l'anno con sostanze liquide neutre (ad es. attraverso acqua calda e sapone con l'ausilio di uno spazzolino). Durante i lavori di pulizia deve essere verificato che in corrispondenza dei raccordi non si siano formate fessure o distacchi. In caso di presenza di fessure o distacchi devono essere presi dei provvedimenti a cura di maestranze qualificate.

Nel caso si verificassero efflorescenze più o meno estese sull'intonaco del cappotto nell'intorno del nodo serramento si rende necessario l'intervento di un tecnico o dell'azienda incaricata alla manutenzione.

#### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

A intervalli non superiori a 2 anni.

Osservare le indicazioni fornite nel manuale di uso e manutenzione del produttore del serramento. Inoltre è compito del tecnico o comunque dell'azienda incaricata provvedere a definire se nell'intorno del foro architettonico sono presenti situazioni anomale per quanto riguarda l'umidità del pacchetto costruttivo. Un utile strumento di verifica per determinare eventuali situazioni di rischio per la durabilità dell'edificio stesso è provvedere a misurare nell'intorno del foro architettonico (tramite un igrometro a chiodi) l'andamento dell'umidità. Qualora si misurassero valori di umidità del

pacchetto (isolante) o del materiale che costituisce l'ossatura dell'edificio maggiore del 18% è necessario (prima di programmare qualsiasi intervento di ripristino) capire da dove è partita l'infiltrazione di acqua.

Per verificare la tenuta delle impermeabilizzazioni del foro architettonico si può investire la finestra o la porta finestra con un getto di acqua e controllare sul lato interno dell'edificio eventuali infiltrazioni.

Controllare lo stato e l'efficienza di tutte le sigillature del telaio e del bancale al cappotto.

Molte volte è necessario – al fine di ripristinare l'efficienza del serramento in termini di tenuta all'acqua – sostituire e riposizionare il bancale.

Infine sempre in relazione al ripristino di bancali, si sottolinea che:

- il materiale impermeabilizzante deve essere applicato senza formazione di bolle d'aria;
- tramite lieve pressione si deve realizzare un buon contatto tra le superfici di aderenza;
- procedere con cura a sigillare tutti i raccordi e eventuali imperfezioni in modo da garantire la tenuta.

In relazione a specifici kit dedicati all'impermeabilizzazione, accertarsi che le squadre di montaggio abbiano eseguito specifici corsi di formazione per la corretta posa delle varie componentistiche.

### 8.5.6 FACCIAE IN LEGNO

**Perché?** Per mantenere l'aspetto estetico dell'abitazione e garantire l'adeguata protezione contro gli agenti atmosferici.

Gli intervalli di manutenzione dipendono molto dalla protezione costruttiva contro le intemperie (assenza o presenza dell'aggetto di gronda più o meno pronunciato), dal tipo di rivestimento (specie legnosa), dal tipo di prodotto verniciante con cui è stato trattato il materiale e dallo spessore delle "liste" posate (spessori più minuti, generalmente contenuti sotto i 25 mm tendono ad asciugarsi più rapidamente). Infine, la frequenza della manutenzione dipende anche dai particolari costruttivi con cui è realizzata l'opera.

Oltre a fenomeni di degrado da parte di agenti biotici (principalmente marcescenza da parte dei funghi della carie), si riportano le ulteriori principali cause:

- L'azione ciclica di "ritiro/rigonfiamento", degli elementi strutturali lignei, può provocare dei danni locali della superficie. La zona più superficiale infatti ha la capacità di umidificarsi in una percentuale maggiore rispetto al resto della sezione. Una volta che si innesca "l'azione essiccante" del sole, il legno tende a riequilibrarsi con la nuova situazione igroscopica esterna rilasciando l'acqua assorbita. Tale azione ciclica ha l'effetto di danneggiare localmente la vernice dove si possono instaurare fenomeni di marcescenza.
- Un altro fenomeno di degrado è il cosiddetto "invecchiamento per fotolisi" sotto l'azione dei raggi solari. Sia la lignina che la cellulosa, infatti, vengono demolite ad opera dell'energia raggianti soprattutto alle alte frequenze (raggi UV). L'effetto di questo fenomeno si può notare nel cambio di colore più veloce nelle parti colpite dai raggi solari rispetto a quelle al loro riparo, il classico colore scuro del legno di larice una volta esposto al sole, per esempio. Il fenomeno, comunque, porta ad una "perdita di materiale" di un ordine di grandezza molto inferiore rispetto agli attacchi biologici (1 mm in 15 anni) e quindi non rappresenta un particolare pericolo strutturale. Nell'intorno dei connettori è facilmente riconoscibile da striature bluastre o di colore nero. Nel controllo annuale della struttura si deve quindi appuntare la presenza di tali striature nerastre e assicurarsi che nella sostituzione o manutenzione di componentistica metallica vengano utilizzati connettori che non si ossideranno nel tempo. L'utilizzo di tale carpenteria non è solo importante per un fatto strutturale (la loro portata infatti diminuirebbe con la loro ossidazione), ma anche per la degradazione elettrolitica che aumenta e si aggrava in presenza di metallo arrugginito.

#### Quando e come?

Per il Conduttore
-------------------

Durante il normale uso dell'edificio e comunque a intervalli non superiori a 1 anno.

La manutenzione da parte del conduttore in questo ambito si limita alla sorveglianza periodica dello stato di conservazione del materiale, in modo da individuare al più presto eventuali danni dovuti per esempio ad azioni meccaniche (intemperie o ad eventi accidentali) o deformazioni del materiale che possono ad esempio portare alla rottura dei connettori di fissaggio alla struttura dell'edificio.

Deve essere eseguito un controllo a vista per verificare lo stato di degrado biologico (marcescenza).

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

A intervalli non superiori da 2 a 10 anni in funzione delle condizioni di esposizione della facciata.

Considerando che i prodotti vernicianti si deteriorano nel tempo e le sostanze preservanti in essi contenute perdono di efficacia in circa 5 anni, l'intervento di manutenzione deve prevedere il rinnovo della verniciatura.

Saranno da evitare i prodotti vernicianti filmanti e le pitture (che formano sulla superficie una pellicola continua) in quanto, con le forti sollecitazioni ambientali, tendono a spaccarsi e sfogliarsi richiedendo continua e costosa manutenzione. Saranno privilegiate le vernici impregnanti non filmanti.

Il prodotto verniciante deve avere la caratteristica di proteggere contro l'azione degradante della luce, la presenza di pigmento migliora questa caratteristica.

L'applicazione della nuova vernice deve essere preceduta da una accurata pulizia del supporto da polvere, sporco e residui incoerenti delle vecchie vernici, generalmente è sufficiente una energica spazzolatura di tutta la superficie.

Generalmente risulta sufficiente rinnovare la vernice sulla sola superficie esposta del rivestimento, tuttavia, per migliorare la stabilità dimensionale del manufatto, la verniciatura va mantenuta efficiente anche nella parte posteriore rivolta verso l'edificio; va pertanto valutata la necessità di rinnovare la verniciatura anche sulla parte posteriore previo smontaggio del rivestimento. Le sezioni trasversali degli elementi di rivestimento costituiscono punto preferenziale di adsorbimento dell'acqua e su di esse la vernice va sempre rinnovata accuratamente.

dovranno essere oggetto di valutazione i particolari costruttivi adottati al fine di incrementare la durabilità dell'opera di rivestimento (ad es. attraverso protezioni metalliche in estradosso o con particolari pendenze degli elementi al fine di facilitare il deflusso delle acque meteoriche).

Di seguito si riportano considerazioni generali per una corretta manutenzione degli elementi di facciata:

- Le sezioni trasversali degli elementi di rivestimento costituiscono punto preferenziale di adsorbimento dell'acqua e su di esse la vernice va sempre rinnovata accuratamente.
- Le parti della struttura dove verranno a presentarsi fessure o danneggiamenti localizzati andranno sigillati e tracciati con periodicità almeno annuale.
- Devono essere controllati ed eventualmente ripristinati tutti i fissaggi del rivestimento alla struttura.
- Deve essere valutato l'eventuale degrado biologico ed eventualmente sostituite le parti di rivestimento degradate.
- Per la parte installata nell'intorno dell'attacco a terra – vicino al terreno – deve essere verificato con igrometro l'umidità del materiale in modo da valutare se eventuale pioggia di rimbalzo abbia investito la struttura. Questo al fine di appurare che non si verifichino le condizioni per un attacco fungino ( $U\% \text{ legno} \geq 18/20\%$ ).

### 8.5.7 INTERCAPEDINI

Si tratta delle intercapedini di separazione dell'edificio dal terreno: vespai e gattaiolati posti al disotto dell'edificio e scannafossi posti ai lati delle parti interrato dell'edificio.

Si guardi anche quanto riportato al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** "Errore. L'origine riferimento non è stata trovata." a pagina **Errore. Il segnalibro non è definito.**

**Perché?** Al fine di permettere un corretto ricambio di aria, lo smaltimento dell'umidità e rilevare eventuali ristagni di acqua.

**Quando e come?**

**Per il Conduttore**

Durante il normale uso dell'edificio e comunque almeno due volte all'anno.

Controllare che le bocchette di aerazione, le bocche di lupo e relative griglie siano libere da detriti ed efficienti.

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

A intervalli non superiori a 2 anni.

Oltre ai controlli previsti per il conduttore, dovranno essere ispezionate le intercapedini a vista o con telecamera attraverso le bocchette di aerazione e le bocche di lupo per valutare l'efficienza della ventilazione e rilevare l'eventuale presenza di acqua.

Tutte le bocchette di aerazione e le bocche di lupo vanno controllate; tutte le intercapedini vanno controllate.

Dovranno essere controllati i pozzetti di drenaggio perimetrali e verificata l'efficienza nello smaltimento delle acque che possano infiltrarsi nelle intercapedini.

Liberare da eventuali ostruzioni le bocchette e le bocche di lupo.

Qualora si riscontri un difetto nel drenaggio delle intercapedini bisognerà intervenire rapidamente rimuovendo l'acqua presente con pompe e ripristinare il corretto funzionamento del sistema di drenaggio e ventilazione.

**8.5.8 OPERE IN CALCESTRUZZO ARMATO**

Il calcestruzzo è soggetto a un fenomeno di degrado superficiale progressivo nel tempo (carbonatazione) che provoca l'esposizione delle armature agli agenti della corrosione. La protezione delle armature è offerta sia dall'eventuale intonaco che dal calcestruzzo che ricopre le armature (copriferro). La pittura superficiale è a sua volta una protezione per il sottostante intonaco o calcestruzzo.

Lo spessore dei copriferri ed il tipo di calcestruzzo sono stati scelti, in fase di progettazione, per garantire la durabilità dell'opera per tutta la vita nominale (vedi § "Introduzione" a pagina 6) in funzione anche delle condizioni di esposizione, tuttavia è possibile che fenomeni locali non prevedibili possano accelerare il processo di degrado.

**Perché?** Per prevenire il degrado delle armature.

**Quando e come?**

**Per il Conduttore**

Durante il normale uso dell'edificio e comunque almeno ogni 2 anni.

Controllare lo stato degli intonaci applicati sulle parti in calcestruzzo, che siano ben aderenti e non gonfiati, fessurati e deteriorati. Controllare lo stato della pittura superficiale.

Controllare che non ci siano punti soggetti a continuo inumidimento e/o ristagno di acqua.

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

A intervalli non superiori a 5 anni.

Ripetere i controlli previsti per il conduttore, eventualmente anche mediante piccoli saggi sugli intonaci e copriferri.

Nel caso di degrado del copriferro e di conseguente ossidazione delle armature, occorrerà intervenire rimuovendo meccanicamente le parti di calcestruzzo non aderenti, utilizzare idonei prodotti convertitori di ruggine per le armature ossidate e ripristinare lo strato di copriferro con malta cementizia, sulla base di una specifica progettazione.

Ripristinare gli intonaci e la finitura superficiale.

Qualora si riscontrino punti soggetti a continuo inumidimento e/o ristagno di acqua, vanno allontanate le fonti di inumidimento o protetto il calcestruzzo mediante guaine o scossaline.

Dopo trent'anni

Valutare la profondità di carbonatazione mediante specifici test (ad esempio test colorimetrico con fenoltaleina) in più punti in base alla estensione e condizioni di esposizione della struttura.

Qualora si riscontri un pericolo per le armatura, intervenire come già descritto.

**8.5.9 OPERE IN FERRO**

**Perché?** Per prevenire il degrado delle parti in ferro e programmare la sostituzione.

## Quando e come?

### Per il Conduttore

Durante il normale uso dell'edificio e comunque almeno ogni 2 anni.

Controllare lo stato delle vernici di protezione o della zincatura ed individuare eventuali fenomeni di ossidazione; in particolare controllare le zone più in basso quali attacchi a terra dei pilastri, attacchi delle ringhiere, parti esposte alla pioggia e/o a inumidimento.

Controllare che non ci siano punti soggetti a continuo inumidimento e/o ristagno di acqua.

### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

A intervalli non superiori a 5 anni.

Ripetere i controlli previsti per il conduttore.

Ripristinare la protezione previa pulizia dalla ruggine, scegliendo un ciclo di verniciatura adatto alle condizioni di esposizione del manufatto.

Controllare il serraggio dei bulloni e il tensionamento dei tenditori; dopo tale operazione applicare il prodotto frenafili.

Qualora si riscontrino punti soggetti a continuo inumidimento e/o ristagno di acqua, vanno allontanate le fonti di inumidimento o protetto il calcestruzzo mediante guaine o scossaline.

Dopo trent'anni

Per elementi formati da profilati di piccole dimensioni e specie se cavi (ringhiere, cancelli, recinzioni, ecc.) valutare la necessità di sostituzione integrale.

## 8.6 INTERNO DELL'ABITAZIONE

### 8.6.1 SOTTOTETTO

**Perché?** Per verificare se sono presenti fenomeni di degrado sulle strutture della copertura e/o infiltrazioni.

#### Quando e come?

### Per il Conduttore

Durante il normale uso dell'edificio e qualora si verifichi un evento meteorico o episodio ventoso eccezionale e comunque a intervalli non superiori a 2 anni.

Ispezionare l'ambiente e verificare se sono presenti cambiamenti a carico delle strutture di copertura; fessure da ritiro sul legno massiccio e limitate delaminazioni su legno lamellare (soprattutto nell'intorno dei lucernari) sono da considerarsi normali e generalmente non devono preoccupare. Devono essere considerate anomale delle slumacature di colore biancastro generalmente con andamento verticale sui lati delle travi; la presenza di tali segni indica un malfunzionamento del manto di copertura e la necessità di ripristinare l'impermeabilizzazione.

Inoltre si deve verificare che le sigillature nell'intorno del lucernario siano in buone condizioni e che non ci siano infiltrazioni di acqua piovana. Verifica inoltre che nel sottotetto o nella soffitta non siano presenti tracce di umidità dovute a infiltrazioni con conseguenti punti di accumulo di acqua piovana. Un utile elemento di diagnosi per verificare la presenza di infiltrazioni è constatare lo stato di umidità dell'isolante. Qualora questo si presenti bagnato al tatto è quanto mai probabile che ci siano delle infiltrazioni.

Si deve procedere ad una nuova ispezione del sottotetto a seguito di eventi meteorici straordinari come nevicate, forti venti, ghiacciate, ecc. prestando attenzione agli elementi di cui sopra al fine di verificare che non vi siano stati danni alla copertura.

### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

A intervalli non superiori a 5 anni.

Il conduttore deve fornire copia dei disegni esecutivi della copertura affinché l'incaricato alla manutenzione possa comprendere come è realizzata e annotare le anomalie riscontrate.

È importante per il tecnico come per l'azienda procedere a prendere nota delle osservazioni fatte e rilasciare una relazione al committente.

Si dovrà fare riferimento, per quanto applicabile, ai seguenti documenti normativi:

- UNI 11119 “Beni culturali – Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera”.
- UNI 11138 “Beni Culturali. Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici – Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l’esecuzione degli interventi”.
- UNI 11035-1 “Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 1: Terminologia e misurazione delle caratteristiche”.
- UNI 11035-2 “Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 2: Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per tipi di legname strutturale”.

Entro questo ambito e rimandando a testi normativi e scientifici pertinenti, si precisa solo che la diagnosi dovrà comprendere le seguenti fasi:

- Ispezione Visiva: consiste nell’osservare la struttura nel suo complesso e ogni singolo elemento ligneo che ne fa parte, con lo scopo di rilevare tutte le informazioni necessarie ai fini dell’indagine. Per rendere attuabile tale ispezione è necessario che la struttura lignea sia accessibile e che le superfici legnose siano visibili. Oltre ad un’accurata descrizione della tipologia strutturale, per ogni elemento ligneo verranno rilevate le seguenti informazioni: tipologia di assortimento, umidità, geometria, eventuale degrado biologico (insetti xilofagi e funghi della carie) e meccanico (rottture, lesioni, ecc.), sezione residua e efficienza dei collegamenti.
- Indagine strumentale: può essere eseguita mediante l’utilizzo di attrezzature semplici come il martello la cui risposta sonora derivante dalla percussione dell’elemento permette di individuare eventuali anomalie (carie, cavità, cipollature, ecc.) e mediante attrezzature diagnostiche più sofisticate come gli apparecchi sonici, ultrasonici ed il trapano dinamometrico. Le prove strumentali sono eseguite nelle parti non accessibili e nelle parti accessibili dove l’analisi visiva e con la percussione non risulti sufficiente per la valutazione dello stato di conservazione dell’elemento.

Tutte le anomalie rilevate che portano a sostanziali variazioni delle prestazioni meccaniche dell’elemento, andranno a costituire la sezione critica rappresentativa dell’elemento o di una sua porzione. Le sezioni efficaci devono essere annotate e valutate in termini di verifiche statiche strutturali per poi progettare eventuali interventi di consolidamento. Si ricorda infine che entro questa attività rientrano anche gli accertamenti circa la presenza di insetti xilofagi e danni causati dagli stessi, nonché le azioni dedicate a limitare e risolvere tali attacchi di insetti che devono essere oggetto di opportuno riconoscimento per una strategia di difesa efficiente.

In funzione della diagnosi svolta dovranno poi essere sviluppate le relative azioni di consolidamento e sostituzione degli elementi ammalorati da parte dello strutturista incaricato.

### 8.6.2 BAGNO, APPARECCHI SANITARI E CUCINA

**Perché?** Per verificare il corretto funzionamento delle sigillature dei sanitari, garantire la corretta funzionalità degli stessi e per rivelare eventuali perdite di acqua nocive per la struttura di legno.

I locali dove si produce umidità e dove ci sono impianti ad acqua devono essere oggetto di una maggiore attenzione nel processo di cura e manutenzione.

**Quando e come?**

Per il Conduttore
-------------------

Durante il normale uso dell’edificio e comunque a intervalli non superiori a sei mesi.

Procedi a ventilare i locali secondo quanto indicato nel presente manuale di uso e manutenzione al fine di evitare fenomeni di condensa.

Verificare se le sigillature dei rivestimenti e dei sanitari sono integre; passando una mano sulle sigillature ci si può rendere conto se queste sono distaccate oppure mancanti. Particolare attenzione deve essere prestata a tutti quei piatti doccia posati incassati nel pavimento; in tal caso infatti è necessaria una supervisione più attenta. Si deve prestare attenzione alla comparsa di eventuali macchie di umidità che possono comparire su muri e pavimenti e nelle stanze poste al piano

inferiore in corrispondenza del bagno e della cucina. Controllare che non ci siano perdite dalle tubazioni, rotture o anche lesioni ai sanitari, in particolare ai piatti doccia; tali situazioni richiedono un repentino intervento di un tecnico o di una azienda specializzata.

Controllare che la stuccatura (fuga) fra le piastrelle in corrispondenza dei box doccia e dei lavandini sia integra e non fessurata.

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

A intervalli non superiori a 2 anni.

E' necessario che il conduttore metta a disposizione lo schema impiantistico in modo da poter rintracciare i passaggi di tubi e conseguentemente procedere ad una riparazione di eventuali perdite.

Dovrà essere ripetuta l'ispezione prescritta per il conduttore.

Utili indicazioni circa le perdite che possono verificarsi nell'impianto idrico, possono provenire da un esame con termocamera, accendendo il riscaldamento nei locali interessati e procedendo al confronto delle immagini catturate dallo strumento nell'arco delle ore successive.

### 8.6.3 RASATURE E FINITURE

**Perché?** In questa sede si affronta l'ispezione e manutenzione del rivestimento interno delle pareti, generalmente realizzato in gesso rivestito (cartongesso) e finite con stucco e/o pittura.

In particolare si fa riferimento ai locali quali bagni, cucine, lavanderie, in cui si produce umidità e le pareti possono essere investite dai liquidi; in tali ambienti le pareti svolgono anche la funzione di tenuta all'acqua.

L'efficienza del rivestimento è necessaria per preservare la struttura di legno ma anche per garantire l'aspetto estetico e la funzionalità.

**Quando e come?**

**Per il Conduttore**

Durante il normale uso dell'edificio e comunque a intervalli non superiori di sei mesi.

Percorrendo l'abitazione dal lato interno supervisiona le superfici del rivestimento delle pareti in modo da verificare la presenza di crepe e fessurazioni nell'intorno di porte e finestre e nei punti dove è maggiore l'escursione termica. I problemi sulle finiture generalmente si verificano a seguito dell'accensione degli impianti di riscaldamento/raffrescamento che possono provocare sensibili variazioni di umidità ambientale.

Piccole fessure e/o deterioramento della pittura sulla superficie, se limitati, hanno una valenza prettamente estetica e non inficiano la protezione dell'edificio.

Si consiglia comunque la corretta conservazione e riapplicazione periodica (4/5 anni) delle tinteggiature interne degli alloggi in quanto evita la formazione di acari, batteri, muffe e agenti inquinanti da sporco, che possono contribuire all'insorgere di allergie e problemi respiratori. Tale operazione va condotta con pittura murale per interno, eseguita con materiali permeabili al vapore, atossici e privi di agenti inquinanti o nocivi; si consiglia l'utilizzo di pittura lavabile nei locali dove può persistente un alto grado di umidità.

Sbollature, efflorescenze, cambi di colore localizzati, fessure in corrispondenza di zoccolini e bordi delle finestre possono essere indice di risalite capillari, perdite da impianti, deterioramento della tenuta all'aria e/o della coibentazione delle pareti e devono essere segnalate.

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

A intervalli non superiori a 2 anni.

Dovrà essere ripetuta l'ispezione prescritta per il conduttore.

In caso si debba procedere alla riparazione o alla sostituzione del rivestimento bisogna fare particolare attenzione alla finitura delle lastre ed attenersi alla norma UNI 11424 che individua quattro livelli di qualità dei supporti (dal più basso al più alto: Q1/Q4) e i requisiti correlati a ciascuna posa in opera. Si consiglia di prendere tale standard quale riferimento contrattuale in modo da chiarire in modo univoco e senza fraintendimenti la tipologia qualitativa di riferimento.

A seguito della posa delle lastre, l'azienda deve porre attenzione ai seguenti aspetti, prima della posa delle finiture:

- La superficie che dovrebbe essere quanto più liscia possibile, senza polvere, fori o altre imperfezioni;
- verificare la verticalità, che va effettuata su un'altezza di 2,50 m a cui segue quella di planarità generale da eseguire posizionando un regolo da 2 m di lunghezza in tutte le direzioni di sviluppo del sistema realizzato;
- Per l'orizzontalità si può utilizzare sempre un regolo da 2 m in tutte le direzioni di sviluppo.
- Verificare la planarità dei giunti posizionando un regolo di 20 cm in corrispondenza dei giunti.

A seguito di tali controlli si procede poi alla stuccatura: tale azione permette di risanare e correggere tutte quelle irregolarità che si sono create nella lavorazione, rendendo la superficie più omogenea. È in questa fase che si procede a riempire i giunti e a trattare angoli e raccordi perimetrali di congiunzione; si dovrà fare obbligatoriamente riferimento ai cicli indicati dal produttore. Qualora la committenza voglia procedere ad utilizzare una pittura lucida per le finiture o in caso di luce radente, dopo la stuccatura è necessario procedere ad una rasatura completa delle superfici. Si raccomanda di carteggiare adeguatamente prima di stendere la pittura.

Si ricorda di utilizzare la tipologia di lastra indicata all'interno del progetto in funzione del locale di riferimento; in particolare nei locali dove si produce umidità è necessario utilizzare le lastre tipo H secondo EN508; si ricorda che in tali locali, senza una progettazione attenta di tutto il pacchetto costruttivo, la lastra non è sufficiente a definire l'adeguata sigillatura e protezione della stratigrafia stessa.

#### 8.6.4 PORTE E FINESTRE

**Perché?** Per garantire la permanenza del loro aspetto e funzionalità.

Le chiusure esterne svolgono l'importante ruolo di tenuta all'aria, all'acqua ed al calore.

Visto l'ampia tipologia di serramenti presenti sul mercato e che lo stesso produttore correda la fornitura con un proprio manuale di manutenzione entro il presente elaborato si riportano considerazioni di carattere generale.

La pioggia, mescolandosi allo smog, genera delle soluzioni acide in grado di corrodere qualsiasi materiale. La pulizia evita questo problema e consente di mantenere a lungo l'aspetto estetico e funzionale del film protettivo.

**Quando e come?**

##### Per il Conduttore

Durante il normale uso dell'edificio e comunque a intervalli non superiori di sei mesi.

Tenere in considerazione i seguenti suggerimenti:

- Al momento dell'apertura, o in caso di correnti d'aria, evitare di far sbattere le ante sul muro.
- Evitare di chiudere le ante con forza o di appendere pesi alla maniglia.
- Evitare di porre oggetti tra l'anta e il telaio in grado di ostacolarne la mobilità.
- Non sporgersi eccessivamente nelle fasi di apertura chiusura dei serramenti per evitare di mettere a rischio la propria incolumità.
- Controllare che le ante aperte degli oscuranti siano correttamente agganciate ai fermi.
- Controllare che le ante accostate delle chiusure oscuranti siano bloccate dalla chiusura.
- In caso di apertura o chiusura difficoltose non forzare ma cercare eventuali cause di malfunzionamento.
- Evitare di eseguire manovre non previste dal sistema di chiusura e movimentazione.
- Evitare di forzare l'anta contro la spalletta del muro.
- Ispezionare e tenere efficienti tutti i componenti sia della finestra che dell'elemento oscurante; in particolare controllare lo stato della finitura superficiale.
- In presenza di bambini piccoli non vigilati (anche per pochi istanti), fare attenzione a non lasciare le finestre totalmente aperte.
- Pulire accuratamente le ante ed i telai. Su porte esterne e finestre è vivamente sconsigliato nelle operazioni di pulizia utilizzare detersivi aggressivi, solventi, alcool, prodotti e materiali abrasivi in quanto potrebbero rovinare il film di verniciatura e/o danneggiare la superficie degli accessori.

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

A intervalli non superiori a 2 anni.

Il controllo dello stato di usura, la corretta lubrificazione della ferramenta e la regolazione costituiscono una manutenzione di primaria importanza per il mantenimento della funzionalità e della sicurezza del serramento. La lubrificazione deve riguardare tutte le parti mobili (cerniere, incontri e aste di chiusura, aste di scorrimento, fermi a scatto) e si potrà eseguire utilizzando vaselina tecnica. La manutenzione descritta è da eseguirsi agli intervalli indicati e comunque nei casi in cui si rilevino difficoltà di manovra o chiusura. La regolazione periodica è particolarmente importante per le porte di ingresso che, essendo piuttosto pesanti, col passare del tempo subiscono dei cedimenti.

**8.6.5 IMPIANTO IDRICO**

**Perché?** L'impianto idrico non necessita di particolare manutenzione, tuttavia, per garantirne la funzionalità e prevenire danneggiamenti e fuoriuscite di acqua dannose per le strutture, è necessario attenersi alle seguenti indicazioni.

**Quando e come?**

**Per il Conduttore**

Durante il normale uso e in caso di malfunzionamento e/o perdite.

Per una maggior durata dell'impianto e degli apparecchi igienici, bisogna attenersi alle seguenti indicazioni:

- Mantenere puliti i rompi getto ed i riduttori di pressione avvitati sulla bocca dei rubinetti, sostituirli quando intasati.
- Qualora si verifichi un ingorgo di uno scarico si consiglia di usare con attenzione e parsimonia i composti chimici in commercio adatti allo scopo perché un uso troppo frequente può danneggiare l'impianto; in caso di persistenza dell'ingorgo è necessario far intervenire tempestivamente una azienda per la necessaria manutenzione.
- In caso di guasto o perdita è necessario interrompere tempestivamente l'alimentazione agendo sul rubinetto specifico del collettore.

**Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione**

In caso di malfunzionamento e/o perdite. Ogni 5 anni per l'impianto di riscaldamento radiante ad acqua.

Per prima cosa è necessario prendere visione dello schema impiantistico in modo da poter rintracciare i passaggi di tubi e conseguentemente procedere ad una riparazione di eventuali perdite. Si veda il § "Errore. L'origine riferimento non è stata trovata."

Riguardo all'impianto di riscaldamento radiante bisogna eseguire la pulizia dell'impianto dalle alghe che possono svilupparsi all'interno della distribuzione ogni 5 anni (o in caso di necessità).

Riguardo le relazioni legno-acqua, a seguito di una perdita di acqua sporadica o persistente, si deve procedere rapidamente alla riparazione; si precisa che, prima di chiudere il pacchetto costruttivo, si deve controllare l'umidità dell'ossatura portante dell'edificio che deve essere al disotto del 20% al fine di garantire che non si verifichino le condizioni per attacchi di tipo biotico (quali principalmente funghi).

**8.6.6 IMPIANTO A GAS**

**Perché?** L'impianto a gas è soggetto a specifica normativa sia per la realizzazione che la manutenzione. La periodica manutenzione dell'impianto a gas, dei comignoli, delle canne fumarie e di esalazione, sia esso di riscaldamento dell'aria o dell'acqua, sia che alimenti i fuochi della cucina, è importante non solo per l'efficienza e la vivibilità della casa, ma soprattutto per la sicurezza di chi la abita.

**Quando e come?**

Per il Conduttore

Durante il normale uso ed a cadenza annuale.

E' necessario:

- **Perché?** L'impianto a gas è soggetto a specifica normativa sia per la realizzazione che la manutenzione. La periodica manutenzione dell'impianto a gas, dei comignoli, delle canne fumarie e di esalazione, sia esso di riscaldamento dell'aria o dell'acqua, sia che alimenti i fuochi della cucina, è importante non solo per l'efficienza e la vivibilità della casa, ma soprattutto per la sicurezza di chi la abita.

#### Quando e come?

##### Per il Conduttore

Durante il normale uso ed a cadenza annuale.

E' necessario:

- Chiudere la valvola del contatore o quella d'ingresso nell'appartamento, quando non si utilizza l'impianto a gas o quando si sospetti una perdita di gas (odore di gas).
- Non riempire troppo le pentole, né lasciare cibi sul fuoco quando ci si deve allontanare dal locale; infatti il trabocco di liquidi in ebollizione può causare lo spegnimento della fiamma e quindi diventare origine di gravi inconvenienti. Questi inconvenienti possono essere evitati utilizzando piani di cottura provvisti di dispositivo di sicurezza per ovviare allo spegnimento accidentale della fiamma.
- Pulire i filtri di delle prese d'aria almeno 1 volta all'anno.
- In conformità all'attuale normativa, gli alloggi sono dotati di prese d'aria prefabbricate e certificate per l'aerazione naturale dei locali cucina e/o soggiorno/cottura con una sezione minima pari a:
- 100 cmq. nel caso di utilizzo di piani cottura (fornelli) dotati di dispositivo di sicurezza (termocoppia) che interrompe l'erogazione del gas in caso di spegnimento della fiamma;
- 200mmq se i fornelli non sono dotati di tale dispositivo di sicurezza.

La presa d'aria serve ad evacuare i prodotti della combustione o le eventuali fighe di gas del piano cottura immettendo un flusso permanente di ossigeno (ovvero di aria fresca). Esso, grazie alla sua forma ed al materiale fonoassorbente con cui è composto, è in grado di consentire il passaggio dell'aria bloccando il rumore in modo che non oltrepassi la parete.

- Controllare lo stato di conservazione del tubo flessibile non metallico di collegamento fra il rubinetto ed il piano cottura.

##### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

in caso di malfunzionamento e/o perdite. Secondo gli intervalli definiti dalle specifiche normative.

L'attuale normativa prescrive di effettuare la verifica della tenuta degli impianti a gas interni ordinariamente ai seguenti intervalli:

- durante il controllo obbligatorio biennale della caldaia;
- ogni 10 anni nel caso di impianti di adduzione di gas per il solo piano cottura.

e saltuariamente in caso di:

- persistente odore di gas;
- sostituzione di apparecchio parte dell'impianto;
- sostituzione del tipo di gas distribuito;
- riutilizzo di impianti interni inattivi da oltre 12 mesi;
- Il tubo flessibile non metallico che collega il rubinetto al piano cottura deve essere sostituito entro 5 anni dalla data di fabbricazione (stampigliata sul tubo stesso) o in caso di deterioramento; inoltre un suo controllo visivo deve essere eseguito in occasione di ciascun intervento sull'impianto.

#### 8.6.7 IMPIANTO ELETTRICO

**Perché?** Per garantire la funzionalità dell'impianto e la sicurezza degli abitanti.

## Quando e come?

### Per il Conduttore

In caso di guasto, ovvero quando uno o più interruttori del quadro elettrico intervengono staccando tutto o parte dell'impianto.

Qualora si verifichi un malfunzionamento si dovranno eseguire le seguenti operazioni:

- Spegnerne le utenze principali (lavatrice, lavastoviglie, forno elettrico).
- Riarmare gli interruttori scattati all'interno del quadro elettrico dell'appartamento.
- Nel caso dovessero disinserirsi nuovamente, attendere 5 – 10 minuti e ripetere l'operazione descritta al precedente punto 2; in caso di insuccesso rivolgersi a un elettricista abilitato.
- Se i dispositivi all'interno del quadro elettrico dell'appartamento fossero tutti attivi, recarsi al vano contatori ed individuando il proprio contatore, verificare i dispositivi di protezione e ripetere le operazioni descritte ai precedenti punti 2 e 3.

### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

In caso di guasto.

Si ricorda che gli edifici a struttura di legno sono inquadrati nella norma CEI 64-8 come luoghi a maggior rischio in caso di incendio (Ma.R.C.I.) di Tipo B (edifici aventi strutture portanti combustibili). Per tali edifici è necessario il progetto dell'impianto da parte di un professionista e le principali prescrizioni sono:

- Condutture, scatole e cassette di derivazione devono presentare grado di protezione verso le parti combustibili almeno IP4x.
  - Le tubazioni devono aver superato la prova del filo incandescente (GWT) a 750°C.
  - Scatole e cassette devono aver superato la prova del filo incandescente a 850°C.
  - Adottando il grado di protezione prescritto per condutture, cassette e canali, non ci sono particolari prescrizioni per i cavi, si possono utilizzare i classici "non propaganti l'incendio" N07V-K.
  - Se le intercapedini ove corrono le condutture sono isolate, la portata dei cavi è ridotta di almeno il 20% a causa della maggiore difficoltà di smaltire il calore; di questo fatto se ne deve tenere conto nel dimensionamento delle sezioni dei cavi.
  - Predisporre una opportuna protezione dal rischio fulmine, si consiglia di installare opportuni scaricatori di sovratensione a protezione sia dell'impianto elettrico che impianti di segnale; si consiglia di installare l'impianto parafulmine.

## 8.6.8 IMPIANTO VMC

**Perché?** Per garantire la funzionalità dell'impianto e la salubrità dell'aria.

Si veda anche il § "Errore. L'origine riferimento non è stata trovata."

### Quando e come?

La manutenzione prevede la pulizia dei filtri e dei canali a intervalli regolari con opportune tecniche; si rimanda alla manualistica fornita dal costruttore dell'impianto.

## 8.7 ULTERIORI CONTROLLI

### 8.7.1 CONTROLLO DELLE TERMITI

Le termiti sono insetti isoteri che fanno il nido nella terra; raggiungono le parti in legno attraverso percorsi sempre protetti dalla luce (intercapedini, canalizzazioni, fessure di ampiezza da un millimetro in su) o si realizzano delle gallerie utilizzando terra mista a escrementi e saliva; non uscendo mai alla luce difficilmente ci si accorge della loro presenza.



Figura 8.1: Prima e seconda foto: termiti; terza foto: galleria su di un muro; quarta foto: gallerie pendule in un canale di ventilazione.

In Italia le infestazioni di termiti sono un fenomeno relativamente recente e limitato ad alcune zone, tuttavia recentemente sono stati segnalati numerosi focolai di termiti al sud e centro Italia.

L'attività delle termiti è inibita nella stagione fredda mentre è massima nei periodi caldi e umidi.

**Perché?** Le termiti sono in grado di scavare e svuotare gli elementi di legno provocandone il crollo.

**Quando e come?**

#### Per il Conduttore

*Durante il normale uso e una volta all'anno durante la stagione estiva o autunnale.*

Cercare la presenza di termiti sollevando e osservare il lato inferiore di pezzi di legno abbandonati in terra; cercare nelle intercapedini, nei canali di ventilazione e in generale nelle parti buie la presenza di gallerie aderenti o pendule.

Tenere costantemente pulito il contorno dell'edificio da foglie, vegetazione, terra, accumulo di materiali; in tal modo si renderà difficile il movimento delle termiti dalla terra all'edificio e viceversa.

#### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

*A intervalli non superiori a 2 anni.*

Dovrà essere ripetuta l'ispezione prescritta per il conduttore estendendola anche a pozzetti di ispezione degli impianti che penetrano nell'edificio e alle cassette principali dei canali elettrici all'interno dell'abitazione.

In caso di presenza di termiti è necessario predisporre un programma di monitoraggio ed eliminazione delle termiti affidandosi a Ditte specializzate; inoltre è necessario procedere ad una indagine diagnostica per verificare lo stato di conservazione delle strutture di legno (vedi § "Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.").

### 8.7.2 ISPEZIONE A SEGUITO DI TERREMOTO

**Perché?** Il terremoto è una azione considerata nella progettazione del tuo edificio; in particolare l'edificio è stato progettato per due livelli di intensità:

Stato limite di danno (SLD): terremoto lieve che non provoca significativi danneggiamenti alle strutture, agli impianti ed alle finiture.

Stato limite di salvaguardia della vita (SLV): terremoto intenso che provoca significativo danneggiamento alle strutture, agli impianti ed alle finiture, tuttavia le strutture conservano una resistenza residua sufficiente a non determinare il crollo.

**Quando e come?**

A seguito di un terremoto è necessario che il progettista delle strutture confronti l'intensità del terremoto effettivamente avvenuto con le intensità di progetto e decida sulla necessità e tipo di indagini da effettuare anche in funzione del tipo di struttura e delle ipotesi assunte in sede di progetto.

In generale risulta necessario procedere ad una indagine ed eventualmente alla riparazione solo a seguito di terremoti superiori a quello di progetto allo SLD.

L'ispezione necessita di competenze specifiche e non può essere effettuata dal conduttore.

#### Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

Dovrà essere elaborato uno specifico programma di controllo dal progettista delle strutture, dai progettisti degli impianti e dal progettista architettonico; tale programma dovrà riguardare almeno:

- Verifica della funzionalità degli impianti e verifica di assenza di perdite.
- Verifica della funzionalità delle porte e finestre accertandosi che i fissaggi risultino ancora solidi ed eseguendo la regolazione della ferramenta.
- Verifica del corretto ancoraggio delle finiture, con particolare riferimento ai controsoffitti.
- Verifica del danneggiamento dei comignoli e delle parti sporgenti in copertura.
- Verifica della eventuale dislocazione degli elementi strutturali.
- Verifica della verticalità degli elementi strutturali.
- Verifica degli elementi meccanici di connessione delle parti strutturali con particolare riferimento alle zone considerate dissipative.

A seguito di tali verifiche dovranno essere elaborati specifici progetti di ripristino/consolidamento e/o sostituzione.

### 8.7.3 ISPEZIONE A SEGUITO DI INCENDIO

**Perché?** L'incendio è una azione eccezionale estremamente rara negli edifici civili, tuttavia quando avviene può danneggiare seriamente finiture, impianti e strutture.

#### Quando e come?

A seguito di un incendio anche parziale è necessario provvedere ad un controllo generale dell'edificio ed alla sostituzione degli elementi danneggiati.

L'ispezione necessita di competenze specifiche e non può essere effettuata dal conduttore.

<b>Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione</b>
--

Dovrà essere elaborato uno specifico programma di controllo dal progettista delle strutture, dai progettisti degli impianti e dal progettista architettonico; tale programma dovrà riguardare almeno:

- Verifica della funzionalità degli impianti e verifica di assenza di perdite; in particolare gli impianti elettrici potrebbero risultare seriamente danneggiati.
- Verifica della funzionalità delle porte e finestre accertandosi che i fissaggi risultino ancora solidi ed eseguendo la regolazione della ferramenta.
- Verifica del corretto ancoraggio delle finiture, con particolare riferimento ai controsoffitti.
- Per le strutture di legno occorrerà effettuare un controllo accurato di tutte le sezioni residue (togliendo completamente lo strato carbonizzato) e di tutte quelle apparentemente non interessate dall'incendio fino ad una distanza di almeno 50 cm da quelle interessate, controllando anche l'eventuale deformazione degli elementi di connessione.
- Per le strutture metalliche verificare le deformazioni ed il serraggio degli elementi di connessione.

A seguito di tali verifiche dovranno essere elaborati specifici progetti di ripristino/consolidamento e/o sostituzione.

## 8.8 COLLAUDI PROGRAMMATI

Questa sezione è dedicata all'Azienda costruttrice e serve a controllare il corretto funzionamento dell'edificio; si tratta di un collaudo generale e volontario da non confondersi con il collaudo statico di cui all'art. 67 del DPR380/01; entro questa sede, deve essere posta particolare attenzione alla porzione impiantistica dell'opera ed all'involucro esterno.

Qualora vengano riscontrate deficienze e malfunzionamenti, sarà possibile intervenire tempestivamente per correggerli in modo da prevenire eventuali futuri problemi.

Alcuni problemi potrebbero risultare non visibili ad edificio appena costruito, potrebbero evidenziarsi a distanza di tempo o a seguito di un periodo di utilizzo dell'edificio; per tale motivo risulta necessario eseguire un ulteriore controllo a distanza di circa un anno dalla costruzione sull'involucro esterno e dopo circa un anno di utilizzo per gli impianti e le parti interne.

### 8.8.1 PRIMO STEP: ISPEZIONE DELL'EDIFICIO POST REALIZZAZIONE (COLLAUDO INIZIALE)

L'ispezione consiste in:

- Tutti i controlli previsti al Capitolo “Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.”.
- Per le **coperture piane e gli aggetti** eseguire prove di allagamento otturando i pozzetti e mantenendo l'acqua per almeno 48h. Necessario investire con getto d'acqua anche le parti verticali delle impermeabilizzazioni. Controllare che non ci siano cali di livello durante la prova e infiltrazioni sul lato inferiore, il controllo va ripetuto dopo 7 giorni. Al momento di scaricare controllare il corretto deflusso dell'acqua attraverso i pozzetti e controllare la presenza di infiltrazioni lungo lo sviluppo dei pluviali.
- Per le **coperture inclinate** investire con getto d'acqua il manto. Controllare che non ci siano infiltrazioni sul lato inferiore, il controllo va ripetuto dopo 7 giorni. Controllare il corretto deflusso dell'acqua attraverso grondaie e pluviali, controllare la presenza di infiltrazioni lungo lo sviluppo dei pluviali.
- **Mappatura dei ponti termici** registrando immagini con la termocamera dall'esterno di tutte le facciate e dall'interno di tutte le finestre e porte-finestre. La comparsa di nuovi ponti termici o la variazione di quelli esistenti (da verificare al secondo step) generalmente è legata ad un aumento di umidità nel pacchetto parete o nel contorno delle finestre. La termocamera deve essere utilizzata da personale esperto che conosce quali sono i momenti della giornata e le condizioni di esposizione migliori per evidenziare i ponti termici. Per ogni ripresa annotare tutte le informazioni necessarie per poter ripetere in futuro l'indagine.

E' necessario descrivere dettagliatamente, anche con riprese fotografiche, lo stato attuale dell'edificio con particolare attenzione a tutte quelle parti e dettagli che potrebbero essere oggetto di variazione nel tempo.

### 8.8.2 SECONDO STEP: ISPEZIONE DELL'EDIFICIO DOPO UN ANNO

Il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione dell'opera dovrà innanzitutto prendere visione delle attività di monitoraggio e manutenzione segnalati dal conduttore, approfondendo eventuali anomalie. Si ricorda che a seguito di segnalazioni di infiltrazioni (oltre a ripristinare il bene) è necessario definire la causa che ha portato a tale situazione e contestualmente portare una soluzione.

Di seguito si riportano cenni in relazione alla tipologia di controlli che l'azienda o il tecnico possono condurre; rimane a cura del soggetto incaricato alla manutenzione definire il grado di approfondimento con cui eseguire l'indagine.

L'ispezione consiste in:

- Tutti i controlli previsti al Capitolo Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**
- Ripetere la **mappatura dei ponti termici** nelle medesime condizioni utilizzate durante il primo step e controllare eventuali variazioni dei ponti termici mediante confronto con le immagini del primo step. Qualora si riscontrino variazioni è molto probabile che ci siano infiltrazioni e/o condense, è necessario approfondire mediante misure di umidità (come di seguito descritto) ed eventuali smontaggi locali.
- Punti di **ispezione e misura dell'umidità**: se previsti (in riferimento ai punti di ispezione citati all'inizio del capitolo) probabilmente costituiscono l'elemento principale su cui poter basare le proprie analisi. È necessario procedere in tali punti a misurare l'umidità con igrometro ad aghi (non isolati) al fine di verificare se l'umidità dell'ossatura dell'edificio è minore del 18%. Tale operazione, oltre che dal lato interno, si consiglia di eseguirla anche lungo il perimetro esterno dell'abitazione, in prossimità dell'attacco a terra e avendo cura di sigillare accuratamente le eventuali forature che si renderanno necessarie (almeno 1 misura per facciata dell'edificio; il numero di misure da condurre è responsabilità del tecnico incaricato anche in funzione di un esame generale dell'edificio e delle sue peculiarità costruttive).
- L'**indagine endoscopica** è necessaria qualora le due precedenti indagini mostrino problemi di aumento di umidità. Si tratta di andare a verificare entro quei pacchetti non accessibili (o comunque caratterizzati da una complessità elevata nell'attività di monitoraggio) per definire lo stato di conservazione. Solitamente tale tecnica di ispezione è da ricercarsi entro tutte quelle misurazioni puntuali (eseguite con igrometro a chiodi) che forniscono un'umidità delle membrature dell'edificio superiore al 18%.
- Indagine sulle linee di colla per il legno lamellare incollato per valutare l'efficienza dell'incollaggio. Una volta effettuati i controlli non distruttivi e nel caso se ne ravvedesse la necessità, al fine di quantificare l'estensione e

l'entità del degrado delle strutture, è necessario procedere con una indagine diagnostica completa così con riferimento alle indicazioni presenti al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** "Errore. L'origine riferimento non è stata trovata." a pagina **Errore. Il segnalibro non è definito.** Il tecnico così come l'azienda incaricata dovrà procedere ad elaborare una apposita relazione in modo che si possano valutare i possibili interventi di ripristino.

## 8.9 SCHEDA 1: RAPPORTO DI ISPEZIONE E MANUTENZIONE

Periodicità		Ispezione	Data	Operatore	Note
Conduitt.	Manut.	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
6m <sup>(1)</sup>	1a <sup>(1)</sup>	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
6m <sup>(1)</sup>	1a <sup>(1)</sup> e 10a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
6m <sup>(1)</sup>	6m <sup>(1)</sup>	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
6m <sup>(1)</sup>	1a <sup>(1)</sup>	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
1-5a	2-10a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
2a <sup>(2)</sup>	5-10a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
1a	2a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
1a	2-10a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
6m	2a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
2a	5a e 30a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
2a	5a e 30a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
		<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
2a <sup>(1)</sup>	5a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
6m	2a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
6m	2a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
6m	2a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
<sup>(3)</sup>	<sup>(3)</sup> - 5a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
1a	<sup>(4)</sup>	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
<sup>(5)</sup>	<sup>(5)</sup>	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
<sup>(6)</sup>	<sup>(6)</sup>	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
		<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
1a	2a	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
-	-	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
-	-	<b>Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.</b>			
m – Mese a – Anno (1) – Anche a seguito di un evento meteorico o episodio ventoso eccezionale. (2) – Anche a seguito di un evento meteorico eccezionale. (3) – In caso di malfunzionamento e/o perdite. (4) – Intervalli definiti dalle specifiche normative. (5) – In caso di guasto. (6) – Intervalli definiti dal manuale dell'impianto.					
<b>Note sulla ispezione e manutenzione</b>					
Annotare in dettaglio i controlli eseguiti e le relative risultanze, annotare gli interventi di manutenzione eseguiti. Eventualmente integrare con fotografie e disegni.					



## 9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

### 9.1 PUBBLICAZIONI

AAVV, 2010. La figura del Direttore Tecnico di Produzione

AAVV, 2014. Il legno massiccio: materiale per un'edilizia sostenibile.

AAVV, 2017. Appunti per le Costruzioni in legno.

AAVV, 2017. Durability of mass timber structures: a review of the biological risks.

AA.VV, 2017. Strutture resistenti al fuoco, EPC, Roma.

AAVV, 2018. La classificazione secondo la resistenza.

British Columbia, 2017. Innovation in hybrid mass-timber construction – Construction of a tall wood building brock commons tallwood house: construction overview.

Assolegno, 2013. Guida Pratica alla Durabilità e ai Trattamenti del legno.

Assolegno, 2018. FAQ –NTC 2018

Assolegno, 2019. La Figura del Direttore Tecnico di Produzione – NTC 2018.

Assolegno, 2019. FAQ – Circolare esplicativa NTC 2018.

Cristiano Loss, Marco Luchetti, Maurizio Piazza, Mauro Andreolli, 2013. Indicazioni per la progettazione e direzione lavori di edifici in legno in zona sismica

Eva Frühwald, S. Thelandersson, Lund University Ludovic Fülöp, Tomi Toratti, VTT, Robustness evaluation of failed timber structures 2008

Eva Frühwald, Erik Serrano, Tomi Toratti, Arne Emilsson, Sven Thelandersson (University of Lund), Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?, 2007

Forintek Canada Corp, Understanding Biodeterioration of Wood in Structures, P.I. Morris - Wood Preservation Scientist - Composites and Treated Wood Products, 2001

Franco Piva, Il libro del carpentiere (2° edizione), 2012

M. Bacher, Comparison of different machine strength grading principles, 2008

Marco Lauriola, Maurizio Follesa, Marco Luchetti, 2011. Edifici a struttura di legno, Progettazione e realizzazione.

Marco Lauriola, Mario Moschi, 2011. Durabilità e manutenzione delle strutture di legno.

Marco Luchetti, Thomas Schrentewein, 2011. Elementi strutturali in legno – Travi Uso Fiume e Uso Trieste: tradizione ed innovazione.

Raffaello Nardi Berti, 2006. La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego Seconda edizione CNR IVALSA

Friz H. Schweingurber, 1990. Microscopic wood anatomy. Terza edizione, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research

P. Dietsch, A. Gamper, M. Merk, S. Winter, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion Technische Universität München, Germany, "Monitoring building climate and timber moisture gradient in large-span timber structures", 2012

Philipp Dietsch Dr.-Ing., Research Associate Chair of Timber Structures and Building Construction Technische Universität München, Germany; Steffen Franke Prof. Dr.-Ing, Professor for Timber Constructions Bern University of Applied Sciences, Architecture, Wood and Civil Engineering CH-2504 Biel/Bienne, Switzerland; Bettina Franke Dr. Ing., Research Associate Bern University of Applied Sciences, Architecture, Wood and Civil Engineering CH-2504 Biel/Bienne, Switzerland; Andreas Gamper MSc, Research Assistant Chair of Timber Structures and Building Construction Technische Universität München, Germany; Stefan Winter Univ.-Prof. Dr.-Ing. Chair of Timber Structures and Building Construction Technische Universität München, Germany "Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts" 2012

Roberto Zanuttini, Gaetano Castro, Stefano Berti 1998. "Xiloglos. Glossario multilingue dei termini usati in tecnologia del legno" [www.populus.it/xilo.php](http://www.populus.it/xilo.php)

Stefano Berti, Alan Crivellaro, Michela Nocetti, Leonardo Rescic, Lorena Sozzi, "Conoscere il legno", CNR IVALLSA Firenze Italia

Brunetti, Cerullo, Luchetti, Nocetti,, Togni, 2011, "Il legno strutturale italiano entra in Europa. Situazione tecnico-normativa per gli assortimenti a sezione rettangolare," AL. AREALEGNO, Vol. 56, pp. 52-55

Brunetti, Luchetti, Nocetti, Togni 2011. "Impiego del legno in edilizia. Nuove regole e nuove opportunità," SHERWOOD. FORESTE ED ALBERI OGGI, Vol. 175, No. 7, pp. 42-45.

Tiziano Sartori, Daniele Casagrande, Roberto Tomasi, Maurizio Piazza, "SHAKE TABLE TEST ON 3-STOREY LIGHT-FRAME TIMBER BUILDING", 2012

[www.cmhc.ca](http://www.cmhc.ca), CANADIAN WOOD-FRAME HOUSE CONSTRUCTION, 2010

## 9.2 NORME DI PRODOTTO

EAD 130005-00-0304	Solid wood slab element for use as structural element in buildings
EAD 130196-00-0304	Solid wood boards for flatwise structural use with overlapping edge profiles
EAD 130012-00-0304	Strength graded structural timber - square edged logs with wane - chestnut
EAD 130167-00-0304	Strength graded structural timber - square edged logs with wane - softwood
UNI EN 336	Structural timber. Sizes, permitted deviations
UNI EN 338	Structural timber. Strength classes
UNI EN 1912	Structural timber. Strength classes. Assignment of visual grades and species
UNI EN 13986	Wood-based panels for use in construction – Characteristics, evaluation of conformity and marking
UNI EN 14080	Timber structures – Glued laminated timber – Requirements
UNI EN 14081-1	Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1: General requirements
UNI EN 14250	Timber structures. Product requirements for prefabricated structural members assembled with punched metal plate fasteners
UNI EN 14279	Laminated Veneer Lumber (LVL). Definitions, classification and specifications
UNI EN 14374	Timber structures – Structural laminated veneer lumber. Requirements
UNI EN 16351	Timber structures - Cross laminated timber – Requirements

## 9.3 ADESIVI

UNI EN 301	Adhesives, phenolic and aminoplastic for load-bearing timber structures. Classification and performance requirements
UNI EN 15425	Adhesives - One component polyurethane (PUR) for load-bearing timber structures - Classification and performance requirements

## 9.4 CONNETTORI METALLICI

UNI EN 14545	Timber structures – Connectors. Requirements
UNI EN 14592	Timber structures – Dowel-type fasteners. Requirements

## 9.5 DURABILITÀ

UNI EN 335	Durability of wood and wood-based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products
UNI EN 350-2	Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe
UNI EN 351-1	Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood. Part 1: Classification of preservative penetration and retention

- UNI EN 460 Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Guide of the durability requirements for wood to be used in hazard classes
- UNI EN 599-1 Durability of wood and wood-based products. Efficacy of preventive wood preservatives as determined by biological tests. Part 1: Specification according to use class
- UNI EN 599-2 Durability of wood and wood-based products. Performance of preventive wood preservatives as determined by biological tests. Part 2: Classification and labelling

## 9.6 NORME DI CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA

Parte 3: Travi Uso Fiume e Uso Trieste

- DIN 4074-1 Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit. Teil 1: Nadelschnittholz
- DIN 4074-5 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz
- NF B 52-001-1 Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus - Partie 1 : bois massif
- NF B 52-001-2 Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés résineux et feuillus - Partie 2 : méthode alternative pour le bois massif entrant dans la fabrication de bois lamellé collé BLC et bois massif reconstitué BMR - Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés résineux et feuillus - Partie 2: Méthode alternative pour le bois massif entrant dans la fabrication de bois lamellé collé BLC et bois massif reconstitué BMR.
- UNI EN 11035-1 Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica – Parte 1: Terminologia e misurazione delle caratteristiche
- UNI EN 11035-2 Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica – Parte 2: Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per tipi di legname strutturale
- UNI EN 11035-3 Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica
- UNI 11118 Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose
- UNI 11119 Beni culturali. Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera”
- UNI 11130 Beni culturali - Manufatti lignei - Terminologia del degradamento del legno
- UNI 11138 Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi

## 9.7 PROGETTAZIONE

- UNI EN 1995-1-1 Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings
- UNI EN 1995-1-2 Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1-2: General – Structural fire design
- UNI EN 1998 Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance
- DM 17.01.18 Norme Tecniche per le Costruzioni
- CM 21.01.2019 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- CNR DT 206 R1 Istruzioni per la progettazione, Istruzione, l'esecuzione ed il Controllo delle Strutture in legno

## 9.8 ALTRE

- ISO 9001 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary
- UNI TR 11499 Legno – strutturale – Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere
- UNI 11742 Attività Professionali non regolamentate – Carpenterie di elementi e strutture di legno – Requisiti di conoscenza, abilità, competenza



