

# Linee guida per il monitoraggio strutturale degli edifici in legno

## 1. Considerazioni generali

Le presenti linee guida, nell'ambito del protocollo S.A.L.E. hanno lo scopo di fornire a utenti finali, progettisti e installatori/manutentori indicazioni utili alla concezione, progettazione, gestione, manutenzione ed utilizzazione dei sistemi strumentali per il monitoraggio strutturale di opere civili a struttura di legno. I principi generali del presente protocollo possono essere utilizzati anche per strutture in legno esistenti al fine di valutare i rischi di attacchi biologici di tipo fungino e giungere ad una ottimizzazione della manutenzione dell'opera di ingegneria.

Possono essere previsti diversi sistemi di monitoraggio in funzione del fine, della complessità dell'opera, della disponibilità di spesa e delle esigenze della committenza (sia questa di carattere privato o pubblico). Da tale scelta dipende anche la pianificazione del monitoraggio che può comprendere:

- **Monitoraggio occasionale (di breve durata):** qualora siano stati riscontrati livelli di degrado in un sistema strutturale esistente, ai fini di ottimizzare i necessari interventi manutentivi può essere necessario integrare le indagini conoscitive eseguite con metodi tradizionali con un più approfondito livello di conoscenza, quale quello fornito dall'osservazione dell'evoluzione dei sintomi del degrado e della loro correlazione con le azioni derivanti dall'esercizio.

**Nota:** esempio – struttura in opera dove è mancata la necessaria manutenzione programmata e si vuole investigare le condizioni della stessa su particolari nodi costruttivi o se gli stessi possono costituire un punto di debolezza fronte possibili attacchi di tipo biotico. L'osservazione è inoltre limitata ad un periodo di tempo sufficiente a caratterizzare il fenomeno; trascorso detto periodo il sistema può essere almeno in parte rimosso ed eventualmente può essere reinstallato a seguito dei lavori di consolidamento, allo scopo di verificarne l'efficacia. Periodi tipici di osservazione variano da alcuni giorni o settimane fino ad uno o più anni quando siano coinvolti fenomeni di tipo stagionale.

- **Monitoraggio periodico:** quando si reputi opportuno tenere sotto controllo fenomenologie di degrado ben definite; in questo caso il sistema di monitoraggio può essere installato sulla struttura per periodi brevi (alcune ore o giorni), e poi disinstallato, con cadenze predeterminate (alcuni anni), generalmente in accordo a programmi di ispezione e/o successivamente ad eventi potenzialmente pericolosi per l'integrità dell'opera.

**Nota:** esempio – investigare le variazioni di umidità della struttura lignea di un edificio attraverso l'installazione di punti fissi di osservazione costituiti da elettrodi permanentemente infissi nel legno a cui saltuariamente viene collegato un apparecchio di lettura.

- **Monitoraggio continuo o permanente:** si tratta della strategia di monitoraggio più completa e generalmente raccomandata per il controllo in esercizio di sistemi strutturali complessi. In accordo a questa strategia, il sistema di monitoraggio viene installato sulla struttura in modo permanente e con lo scopo di rimanere funzionante (in via teorica) per l'intera vita operativa dell'opera. L'acquisizione dei dati forniti dai sensori avviene in modo continuo o comunque a frequenze elevate (diverse scansioni giornaliere) e le anomalie comportamentali vengono rilevate in tempo reale, generando segnali di attenzione o allarme quando determinati parametri, rappresentativi dello stato del sistema strutturale, superano soglie prestabilite. Nel progetto e nella gestione dei sistemi di monitoraggio deve essere tenuta presente la durabilità del sistema sensoriale e la sua manutenibilità, inclusa la possibilità di sostituire i sensori eventualmente danneggiati durante l'esercizio; analogamente, le problematiche della gestione e dell'aggiornamento delle componenti elettroniche e dei sottosistemi software devono essere attentamente considerate. Lo studio di questa strategia deve essere fatto già in fase di progetto esecutivo.

**Nota:** il fine della presente strategia di monitoraggio, secondo il protocollo S.A.L.E., rimane quello di validare soluzioni costruttive; inoltre le presenti linee guida non hanno il l'obiettivo di essere esaustive in quanto un sistema

di monitoraggio dovrebbe essere concepito dallo strutturista incaricato coadiuvato da impiantisti e tecnologi. Si sottolinea che l'onere del rispetto dei requisiti di sicurezza e di durabilità dell'edificio rimane comunque a carico del progettista, direttore lavori e costruttore (ognuno dei quali coinvolto secondo i propri profili di responsabilità).

## 2. Termini e definizioni

Viene adottata la seguente terminologia specifica. Per le definizioni degli altri termini utilizzati nelle presenti linee guida si farà riferimento alle norme applicabili.

- **monitoraggio strutturale:** rilevamento dello stato di una struttura e della sua evoluzione nel tempo attraverso misure strumentali, acquisite mediante sensori, al fine di determinarne lo stato di conservazione;
- **struttura:** la tecnologia costruttiva in legno oggetto del monitoraggio;
- **livelli di allerta:** insieme dei valori assunti in un certo istante per rappresentare la risposta della tecnologia costruttiva sotto l'effetto delle azioni e eventuali azioni di degrado presenti;
- **sensore:** qualsiasi dispositivo che fornisce un'informazione utile al monitoraggio strutturale;
- **incertezza:** parametro non negativo che caratterizza la dispersione dei valori che sono attribuiti a un parametro o ad una misura; può essere rappresentato con la deviazione standard o con l'intervallo dei possibili valori che può assumere l'errore della misura.
- **errore di misura:** differenza tra il valore misurato di una grandezza e il suo valore di riferimento.
- **comportamento:** il comportamento di un sistema strutturale è rappresentato dall'insieme di relazioni tra le azioni (meccaniche, biotiche e fisiche) ad esso applicate e la sua risposta, descritta attraverso misure strumentali ottenute attraverso sensori.
- **parametri di comportamento:** insieme dei parametri che rappresentano in forma numerica il comportamento della struttura e che sono significativi ai fini della determinazione della sua condizione.
- **danno strutturale:** qualsiasi variazione delle caratteristiche fisiche o meccaniche della struttura o di un suo componente che ne possa influenzare negativamente la resistenza, la rigidità o massa volumica; può essere causato da fenomeni di corrosione, invecchiamento o deterioramento dei materiali di origine biotica e abiotica.
- **identificazione del danno:** procedura di accertamento della presenza, localizzazione e intensità del danno strutturale attraverso l'analisi e l'interpretazione dei dati provenienti dal monitoraggio

## 3. Obiettivi e requisiti di progetto

### a. Il processo di controllo: ruolo del sistema di monitoraggio

Il controllo in esercizio di una struttura in legno è sempre più uno strumento essenziale per una gestione ottimale e sicura del patrimonio edilizio. Soprattutto in relazione agli edifici a struttura di legno, dove si assiste in molti casi a dei pacchetti costruttivi difficilmente ispezionabili a seguito della fine dei lavori. Entro tale ambito, un sistema di monitoraggio – ben concepito e correttamente realizzato – può realmente portare un valore aggiunto nella razionalizzazione della manutenzione dell'opera e ad un prolungamento della vita utile della costruzione.

**Nota:** nel presente testo vengono trattati sistemi di monitoraggio periodico e continuo su strutture, quali gli edifici a struttura di legno, realizzate ex novo in conformità alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni; sulle strutture esistenti si rimanda a successivi approfondimenti derivanti una prima ispezione visiva e/o strumentale a carico di un tecnologo che possa portare ad una conoscenza dello stato di conservazione della struttura e ad un suo successivo monitoraggio.

Gli elementi fondamentali che caratterizzano il processo di controllo sono:

- **Le variabili prese in considerazione al fine di definire l'efficienza dell'opera:** prevedere il comportamento dell'opera durante la vita utile di progetto (vedi par. 2.1 delle NTC) in relazione all'analisi e all'andamento di grandezza di riferimento; in questo senso il modello costituisce una "fotografia" della struttura in un certo istante della sua vita a cui fare riferimento per ogni successiva valutazione sia del suo stato che delle variazioni del suo comportamento  
In questo caso si parla di "efficienza dell'opera" legata:
  - Contenuto di umidità degli elementi strutturali in legno;

- Deviazione delle partizioni verticali e orizzontali dalla configurazione di progetto

Relativamente a realizzazione sino a tre piani fuori terra il sistema di monitoraggio contempla solo sonde ingrometriche, per edifici con più di tre piani fuori terra (maggiore stretto) il sistema di monitoraggio dovrà comprendere sonde di tipo igrometrico che inclinometrico.

### i. Contenuto di umidità degli elementi strutturali in legno

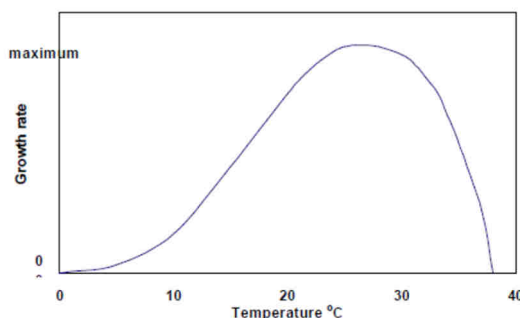
In relazione alla progettazione dell'opera devono essere presi in considerazioni le seguenti normative tecniche:

- Classi di rischio e metodologia decisionale: EN 335 (serie);
- Classificazione dei preservanti: EN 351;
- Prestazioni dei preservanti per legno, classificazione ed etichettatura: EN 599;
- Guida alla durabilità naturale e trattabilità delle varie specie legnose: EN 350;
- Guida ai requisiti di durabilità naturale per legno da utilizzare nelle classi di rischio: EN 460;

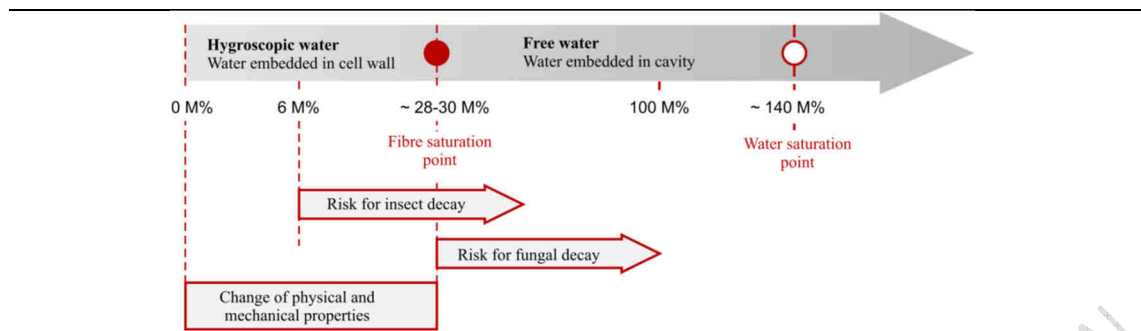
Inoltre, si assume che:

- Considerato che le strutture in legno, all'interno di una generica abitazione, si trovano in classe di servizio 1 (EC5) e in classe di rischio 1 (EN 335 serie), nel dimensionare il sistema di monitoraggio si dovranno tenere in considerazione principalmente quelle situazioni dove vi sia reale pericolo che il materiale si trovi ad avere un'umidità superiore al 20% e che quindi sia oggetto (causa errori progettuali o di esecuzione) di degrado a carico di funghi.
- Relativamente ad altri tipi di attacco, quali ad es. insetti, visto che gli stessi sono difficilmente correlabili con i sistemi di monitoraggio di seguito descritti, questi devono essere presi in considerazioni attraverso punti ("fusibili") entro i quali poter campionare la struttura ed evidenziare eventuali situazioni entro le quali si richiede interventi curativi e/o di consolidamento.
- Il rischio di attacco di fungino su legno (avente un'umidità superiore a quella del 20%) è direttamente correlato con il tempo entro il quale il materiale mantiene tale situazione.

Inoltre nel tenere in considerazione le soglie di allarme, si deve evidenziare che la crescita del micelio fungino è in funzione della temperatura (le maggiori crescite del micelio sono in corrispondenza delle nostre temperature di confort).



**Fig. 1** – Andamento tipico di crescita per un fungo basiomicete in funzione della temperatura ambientale (fonte: Understanding Biodeterioration of Wood in Structures - Forintek Canada Corp, British Columbia)



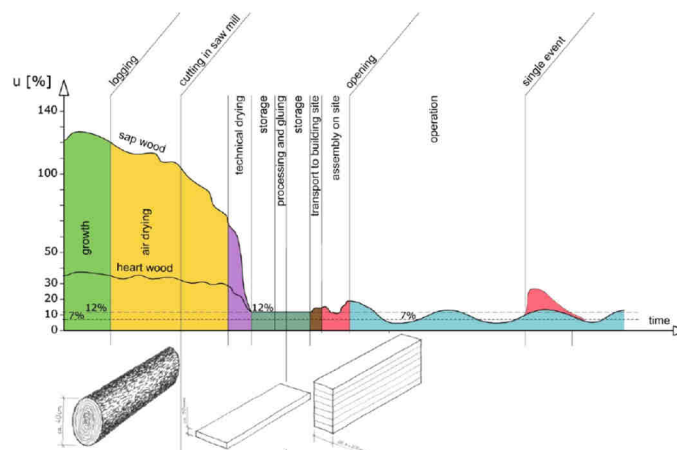
**Fig. 2** – Variazioni di umidità e correlazioni con le performance meccaniche e vulnerabilità del materiale (fonte: Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, TUM & Bern University)

4

Quindi in relazione a tale fattore si utilizzano le seguenti soglie di rischio (4):

1.  $U (\% \text{legno}) \geq 20\%$  per un tempo  $t$  inferiore a 1 g
2.  $U (\% \text{legno}) \geq 20\%$  per un tempo  $t$  compreso tra  $1g < t \leq 5$  gg
3.  $U (\% \text{legno}) \geq 20\%$  per un tempo  $t$  compreso tra  $5$  gg  $< t \leq 10$  gg
4.  $U (\% \text{legno}) \geq 20\%$  per un tempo  $t$  compreso tra  $10$ gg  $< t \leq 15$  gg

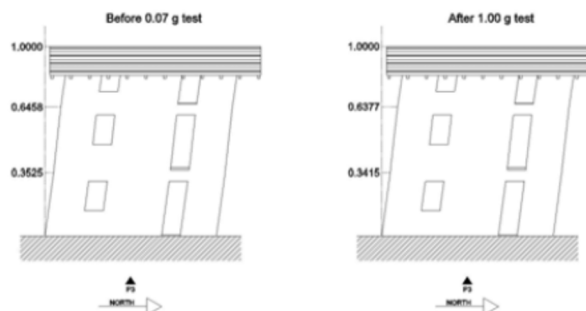
In ragione del tempo trascorso devono seguire da parte del costruttore, se responsabile del costruito e in funzione delle contratto con il committente, azioni dedicate alla diagnostica e ripristino del corretto status della struttura di legno; inoltre se la problematica relativa all'innalzamento di umidità è legata ad una soluzione costruttiva mal concepita o realizzata è necessario prevedere l'individuazione della causa e al ripristino dello stato dell'arte.



**Fig. 3** –Umidità e assortimenti (fonte: Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, TUM & Bern University)

## ii. Deviazione delle partizioni verticali e orizzontali dalla configurazione geometrica di progetto

Una delle possibili modalità per comprendere le prestazioni della struttura nei confronti del sisma è la misura del cosiddetto *Interstorey Drift* ( $\delta/H$ ), definito come il rapporto fra lo spostamento differenziale orizzontale residuo di interpiano  $\delta$  del punto di controllo valutato post-sisma e l'altezza del medesimo interpiano  $H$ .



**Fig. 3** – Ripreso da Shaking Table Testing of a Full-Scale Prefabricated Three-Story Timber-Frame Building, Shake Table test on 3- storey light frame timber building — Tomasi R., Sartori T., Casagrande D., Piazza M., Journal of Earthquake Engineering, 2015, 19:3, 505-534 Tiziano Sartori, Daniele Casagrande, Roberto Tomasi, Maurizio Piazza, WTCE 2012

Nel caso in particolare si prende in riferimento quanto definito all'interno delle Norme Tecniche per le Costruzioni 7.3.2 e quanto in via di definizione all'interno dei codici di calcolo europei in materia di stato limite di danno.

$$\left(\frac{\Delta l}{H}\right) = 0,01 \text{ cioè: } \Delta l = 0,01H$$

Considerando una altezza di interpiano  $H = 3,0$  m e assumendo un "interstorey drift" massimo di 1%, (3 cm), l'angolo equivalente in gradi è  $\gamma = 0,55057^\circ$  essendo:

$$\text{tang}(\gamma) = \frac{\Delta l}{H}$$

Da tali considerazioni si riportano le seguenti soglie di rischio (3), avendo approssimato l'angolo a  $0,55^\circ$ :

1. **Prima soglia di rischio:  $0,55^\circ$  ( $\Delta l / H = 1\%$ ) – edificio danneggiato ma pienamente funzionante**
2. **Seconda soglia di rischio:  $1,10^\circ$  ( $\Delta l / H = 2\%$ ) – edificio danneggiato non pienamente funzionante**
3. **Terza soglia di rischio:  $1,60^\circ$  ( $\Delta l / H = 3\%$ ) - edificio danneggiato (con necessità di evacuare l'edificio)**

**Nota:** I valori delle soglie di rischio sono desunti dalla pubblicazione "Utilizzo di dispositivi isteretici per l'isolamento di piano: strategie per una progettazione sismica di tipo multi-prestazionale", Università di Bologna 2012. I medesimi valori devono essere considerati come indicativi; la reale risposta dell'edificio è legata ai criteri di progettazione (campo elastico e plastico) nonché ai tempi di ritorno considerati per il dimensionamento.



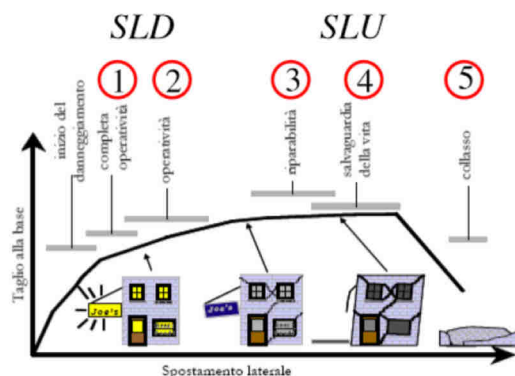


Fig. 4 – esemplificazione del comportamento di un edificio generico e corrispondenza qualitativa tra stato limite e danneggiamento

Si consiglia di posizionare sonde inclinometriche per edifici aventi almeno tre piani fuori terra.

Inoltre gli altri elementi che caratterizzano il processo di controllo sono:

- **un sistema di raccolta e gestione dati** in cui confluiscono le informazioni ottenute attraverso una opportuna attività di diagnostica strutturale e per mezzo di una rete di sensori, direttamente installati sulla struttura, che misura il valore e l'andamento nel tempo delle azioni a cui la struttura è sottoposta e delle risposte conseguenti;

- **un insieme di procedure di elaborazione dei dati** che consentono la valutazione delle condizioni in cui si trova la struttura e della loro tendenza evolutiva;
- **procedure decisionali** che guidano nella scelta delle azioni successive in funzione delle indicazioni fornite dal monitoraggio. Nella particolare casistica degli edifici in legno, a seguito di un superamento di una soglia di rischio, la procedura decisionale deve essere presa a seguito di un intervento di diagnosi.

### b. Attori del processo di monitoraggio

Per meglio comprendere la struttura del processo, è utile descrivere le singole figure che partecipano come attori del processo:

- **committente**: il committente del processo di monitoraggio è in genere il proprietario della struttura o un altro soggetto che ne assume la responsabilità di gestione (ad esempio un concessionario o un soggetto delegato dal proprietario ad effettuare la gestione del bene). Compito del committente è quello di commissionare l'attivazione del processo di monitoraggio.
- **progettista strutturale**: il progettista strutturale è la figura professionale incaricata dal committente dell'esecuzione del progetto delle opere di ingegneria (o al loro ripristino);
- **progettista del sistema di monitoraggio\*\***: il progettista del sistema di monitoraggio, che può eventualmente coincidere con il progettista strutturale, è quella figura professionale che ha il compito di definire, sulla base delle conoscenze in ambito ingegneristico e tecnologico, la posizione, il numero e la tipologia di sensori da apporre all'interno dell'opera di ingegneria, tenendo in considerazione la complessità dell'edificio o dell'opera stessa.
- **costruttore**: è la figura responsabile del costruito e della sua rispondenza al progetto; in accordo al contratto stilato con il committente esegue gli eventuali interventi di recupero definiti dal progettista strutturale.
- **Subappaltatore delle opere lignee**: figura, all'interno della compagine appaltatrice, responsabile della posa delle strutture portanti in legno; nel caso sia presente spetta a questa il confronto con il progettista del sistema di monitoraggio prevedere le opportune stazioni dei sensori.
- **DTP o ispettore di cantiere (UNI TR 11499/2013)**: è la figura professionale che sovrintende all'installazione del sistema (ai fini del protocollo S.A.L.E. può coincidere con le figure sopra menzionate, quali progettista strutturale, progettista del sistema di monitoraggio e costruttore).

**\*\* Nota:** in relazione all'argomento il presente elaborato definisce un possibile sistema di monitoraggio che può essere utilizzato ed eventualmente implementato sotto la responsabilità del Costruttore e Progettista.

#### 4. Obiettivo del sistema di monitoraggio

Obiettivo del presente sistema di monitoraggio è l'individuazione di un processo di degrado in atto su una struttura lignea, ossia di individuare il verificarsi di un comportamento anomalo, segnalato dall'andamento, non in linea con le previsioni o con le misure passate, di alcune risposte caratteristiche della struttura alle azioni esterne. Tale sistema ha quindi l'obiettivo di validare soluzioni costruttive e non di definire la conformità del costruito al progetto e ai testi normativi di riferimento.

#### 5. Motivazione di un sistema di monitoraggio

È evidente che l'adozione di un monitoraggio strutturale ha un ruolo importante nella gestione di una struttura; in particolare le ricadute più significative sono:

- **Programmazione razionale della manutenzione:** la possibilità di una classificazione del deterioramento dell'opera in base all'entità del danno presente porta con sé la possibilità di una razionalizzazione dell'attività ispettiva e di sorveglianza che potrà essere svolta non più in base ad un rigido programma temporale ma che potrà invece essere concentrata sulle opere che presentano i sintomi di degrado più gravi. Tale programmazione deve trovare rispondenza in uno specifico libretto di manutenzione da consegnare alla committenza, così come esplicitato dallo stesso Protocollo S.A.L.E.;
- **Estensione della vita residua:** per le strutture in legno può essere verificata la possibilità di estendere la loro "vita" al di là di quella di progetto, eventualmente effettuando alcuni interventi manutentivi mirati

#### 6. Criteri di scelta e dimensionamento del sistema di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio, in ambito S.A.L.E., deve essere in relazione alle seguenti variabili:

- **l'importanza dell'opera:** deve essere valutata in termini di valore economico e funzione svolta (ad es. edifici di carattere pubblico o ingegneristicamente complessi devono possedere un grado di sofisticazione maggiore rispetto a quanto indicato nel presente elaborato);
- **le condizioni ambientali:** il monitoraggio strutturale è da prevedersi con una priorità più alta in presenza di una forte aggressività dell'ambiente in cui la struttura si trova (zone ad alto rischio sismico, condizioni climatiche estreme, ecc..) in considerazione di una più elevata possibilità di danno

E' da sottolineare come il sistema di monitoraggio non si debba sostituire a scelte progettuali mirate a preservare la durabilità dell'edificio, né si sostituisce ad indagini di carattere diagnostico per la verifica dell'efficienza strutturale di una determinata opera di ingegneria.

#### 7. Campagna di monitoraggio

Entro il presente ambito si parla di monitoraggio in continuo o periodico realizzato attraverso igrometri e sonde inclinometriche. Il sistema di monitoraggio viene installato quindi sulla struttura con lo scopo di rimanere funzionante (potenzialmente) per l'intera vita operativa dell'opera (nel caso di monitoraggio continuo). La scelta del sistema di monitoraggio è da ricondursi a quanto definito all'interno del punto 6 del presente elaborato. Di seguito vengono descritte le due unità dedicate al monitoraggio:

- a) Unità per sistemi di monitoraggio da installare su edifici sino a tre (compreso) piani fuori terra:**
- Una serie di sonde igrometriche (per un minimo di 4);
  - Una centralina di raccolta dati
  - Un Touch Pad per la visualizzazione delle dati raccolti dalle sonde;

- Un concentratore per l'elaborazione e per inoltrare i dati in posti in remoto (costruttore o altri soggetti deputati alla manutenzione del fabbricato)

Tale apparato consente la misura in continuo dell'umidità dei componenti strutturali dell'edificio in modo da segnalare attraverso specifiche soglie allarme eventuali rischi di attacco biologico (vedi paragrafo paragrafo 3i e 3ii in relazione alle soglie di allarme).

Il modulo sopra descritto deve essere ripetuto ogni 150 m<sup>2</sup> di superficie abitativa calpestabile, posizionando le sonde nell'interno dei nodi più sensibili nei confronti del rischio di attacco biologico (funghi).

#### **b) Unità per sistemi di monitoraggio da installare su edifici con più di tre piani fuori terra:**

- Una serie di sonde ingrometriche (6);
- Due sonde inclinometriche (da posizionarsi in corrispondenza dell'altezza di gronda e al primo piano del fabbricato)
- Due centraline di raccolta dati
- Un Touch Pad per la visualizzazione delle dati raccolti dalle sonde;
- Un concentratore per l'elaborazione e per inoltrare i dati in posti in remoto (costruttore o altri soggetti deputati alla manutenzione del fabbricato)

Tale apparato consente la misura in continuo dell'umidità e della deviazione delle membrature strutturali dell'edificio rispetto alla configurazione di progetto in modo da segnalare (attraverso soglie dall'allarme – vedi par. 3i e 3ii) eventuali anomalie presenti nell'involucro. Tale modulo costituito da almeno sei igrometri (più naturalmente le stesse sonde inclinometriche) deve essere ripetuto per ogni 300 /350 m<sup>2</sup> di superficie abitativa, posizionando gli stessi all'interno dei nodi più sensibili nei confronti del rischio di degrado biologico / meccanico.

#### **c) Specifiche del sistema di misura**

In questa sede si farà riferimento solo alle sonde, trascurando il calcolo dell'incertezza di misura della catena (oggetto di approfondimento con il costruttore del sistema di monitoraggio).

In particolare:

- **Per gli igrometri:**
  - o l'accuratezza richiesta dello strumento è di  $\pm 3\%$  (per almeno il 95% delle misurazioni);  
Nota: per ulteriori riferimenti si farà riferimento alla FprEn 14081-1: 2015
  - o Il campo di misura richiesto è compreso tra il 12% e 25% (26%);
  - o taratura e verifica del corretto funzionamento dello strumento: i processi di taratura devono essere eseguiti dal costruttore dello strumento prima della posa in opera; in relazione alla verifica del corretto funzionamento dello strumento (qualora si renda necessario in caso di sospetti malfunzionamenti), questa può essere eseguita a carico del costruttore dell'opera di ingegneria con un set di resistenze campione (almeno tre) che prevedano un campo di misura tra 1 MOhm a 100MOhm per misurazioni di umidità condotte conformemente alla UNI EN 13183-2;
  - o Durabilità e vita utile dello strumento: in teoria lo strumento deve restituire dati affidabili per la durata di vita prevista (vedi NTC par. 2.1)
  - o Temperatura di funzionamento: -20% a +40°C
- **Per le sonde inclinometriche:**
  - o Risoluzione: la risoluzione dello strumento deve essere dello 0,001°
  - o Accuratezza:  $\pm 2\%$
  - o Campo di misura: da - 5° a + 5 °



- Temperatura di funzionamento: -20 a + 40°C
- Durabilità e vita utile dello strumento: in teoria lo strumento deve restituire dati affidabili per la durata di vita prevista (vedi NTC par. 2.1)
- Taratura e verifica del corretto funzionamento delle sonde: le stesse devono essere oggetto di taratura iniziale da parte del costruttore dello strumento. Al momento dell'installazione è necessario prevedere un aggiornamento delle letture di zero.

Ai fini del monitoraggio permanente e per l'impiego previsto si prevede l'utilizzo di sensori WI-FI (o collegati tramite cavi) che possano trasmettere le informazioni a disposizioni di acquisizioni dati centrale atto a resistuire i dati in forma leggibile per l'utilizzatore finale. Le stesse sonde possono essere alimentate a batterie (nel presente caso devono poter essere cambiate dal committente) o in alternativa cablate con l'impianto elettrico dell'abitazione o della generica realizzazione.

#### d) Periodicità di acquisizione

Nel presente caso si assume che:

- **Monitoraggio permanente:** l'acquisizione è in continuo per quanto riguarda le due sonde (igrometri e inclinometriche) oggetto del presente sistema di monitoraggio; qualora questo non sia possibile si consiglia un periodo di acquisizione non inferiore alle 6 ore.
- **Monitoraggio periodico:** il rilievo dell'umidità e dei valori restituiti dalle sonde è in funzione con le periodicità definite all'interno del libretto di manutenzione del fabbricato.

#### e) Pretrattamento dei dati

Si menziona che il pretrattamento dei dati ha lo scopo di:

- migliorare la qualità del dato misurato;
- Eliminazione degli effetti del rumore;
- Trasformazione in valori ingegneristici e di uso sia al progettista che al tecnologo;

#### f) Dispositivo di acquisizione & Software

Relativamente al dispositivo di acquisizione si accenna che lo stesso deve essere dimensionato e concepito sia per l'acquisizione del segnale da parte delle sonde inclinometriche sia per gli igrometri posti a monitoraggio. Per quanto riguarda il software, questo deve permettere la ricerca, la modifica, l'elaborazione e la rappresentazione dei dati, nonchè il controllo dei parametri di acquisizione e analisi con particolare riferimento alle soglie di rischio (vedi par. 3 delle presenti linee guida).

**Nota:** in relazione al software è necessario lo sviluppo di un'applicazione che possa permettere al costruttore di controllare in remoto l'andamento dei parametri oggetto di monitoraggio. Durante la audit annuale dedicato al protocollo S.A.L.E., nell'ambito della riservatezza delle informazioni, saranno trasmessi a Conlegno / Assolegno.

Il software deve essere in grado di archiviare almeno due anni di acquisizione dati; gli stessi devono essere esportabili tramite penna USB.

#### g) Manuale di installazione

Il sistema di monitoraggio sarà corredato di un unico manuale di installazione, completo di disegni e schemi esplicativi, che riporti sia le istruzioni per l'installazione delle componenti hardware (sensori, cablaggi, unità di acquisizione, dispositivi di comunicazione dati) sia del software. Il manuale dovrà contenere anche i metodi per il controllo, in situ, della qualità dell'installazione e del funzionamento del sistema.

La parte del manuale riguardante l'installazione dell'hardware dovrà contenere:

- le istruzioni di montaggio dei sensori sulla struttura, comprensive delle tolleranze metriche ed angolari in termini di posizionamento degli stessi ;
- istruzioni per il cablaggio dei sensori, comprensive di schemi elettronici e immagini esplicative dei connettori;
- istruzioni per l'esecuzione dell'impianto, comprensive di tavole grafiche che riportino il percorso dei cavi e la loro protezione (es. mediante canale) e l'eventuale interazione con gli impianti esistenti;
- istruzioni per il montaggio delle unità di acquisizione e relative accessori, se presenti;

La parte del manuale riguardante l'installazione del software dovrà contenere:

- le istruzioni per l'installazione del software all'interno dell'unità di acquisizione, se non già presente, e dell'eventuale elaboratore, se necessario;
- le istruzioni per la configurazione di rete, se necessaria per la comunicazione dei dati remota.

Lo stesso Manuale di installazione dovrà prevedere una specifica parte dedicata all'uso e alla manutenzione del presente sistema di monitoraggio.

La manutenzione ordinaria del sistema è normalmente affidata al committente e comprende (qualora possibile) l'esecuzione di operazioni periodiche di taratura e calibrazione, da programarsi in base alle specifiche dei sensori; nel caso di sostituzione dei sensori, è necessario provvedere all'aggiornamento delle letture di zero (sonde inclinometriche).

La manutenzione straordinaria è richiesta quando, per eventi non previsti o per superamento della vita utile, parti significative del sistema debbano essere sostituite. Tali situazioni riguardano in generale le componenti elettroniche del sistema divenute per varie ragioni obsolete o danneggiate e non più riparabili.

## h) Numero e punti di misura

Il numero e la posizione dei punti di misura dipendono dalla tipologia della struttura, dagli obiettivi del monitoraggio, dall'accuratezza richiesta e dalla tipologia di strumentazione di cui si prevede l'impiego.

Nel presente caso, e limitatamente alle opere di modesta entità (edifici a carattere residenziale sino a tre piani fuori terra) si consiglia la presente configurazione, eventualmente implementabile in considerazione del rischio sismico e della vulnerabilità dell'edificio a fattori di degrado biotico. Inoltre nella presente trattazione si espliciteranno solo le casistiche (a titolo esemplificativo) legate alla tecnologia costruttiva a telaio e Xlam (gli stessi principi di cui seguito possono essere seguiti per altre tipologie costruttive).

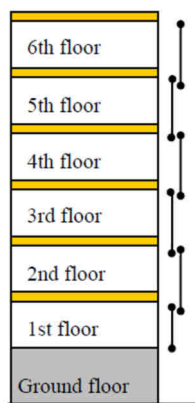
In primis, nel processo di definizione del sistema di monitoraggio devono essere presi in considerazione (principalmente) i seguenti fattori:

- Esposizione del fabbricato;
- Venti dominanti;
- Pioggia di stravento;
- Superfici piane che possono essere "veicolo" di accumulo di acqua.

Inoltre devono essere oggetto di opportune considerazioni tutti quegli elementi che possono avere un'influenza nel comportare un degrado di tipo biotico / abiotico o meccanico.

Infine è buona norma prevedere degli appositi punti di ispezione in corrispondenza della posizione delle sonde per prevederne la corretta manutenzione e/o sostituzione nonché la taratura o verifica del corretto funzionamento.

Di seguito si riporta una situazione ideale per un posizionamento delle sonde igrometriche (in assenza di oggetti e senza considerare gli impianti):



**Commento:** ogni piano in questo caso è provvisto di sonde distribuite nell'intorno dell'attacco a terra, nodo parete / solaio e nodo parete/ solaio di copertura (genericamente rappresentate da una sfera). In figura tutte le sonde sono riportate dallo stesso lato del fabbricato; il progettista del sistema di monitoraggio, in considerazione dell'orientamento dell'edificio e in considerazione di altri fattori di rischio può identificare diversa posizione delle sonde al fine di ottimizzare la tecnologia di monitoraggio utilizzata. Di particolare attenzione durante la fase di esecuzione è la corretta posa delle guaine e degli smorzatori acustici. Questi possono essere causa di percorsi preferenziali di accumulo di acqua tra la parete e solaio e creare le condizioni per lo sviluppo di agenti di degrado quali i funghi (vedi fig. 5).  
Si sottolinea inoltre che ogni piano dovrebbe essere trattato separatamente come un nuovo edificio, in quanto si deve altresì porre attenzione ai passaggi impiantistici e alla presenza di zone umide di particolare importanza critica nel definire situazione di rischio per la struttura in legno.

**Fig. 4** – Possibile schema di monitoraggio per le sonde igrometriche (fonte: LONG TERM IN-SITU MEASUREMENTS OF DISPLACEMENT, TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY IN A MULTISTOREY RESIDENTIAL CLT-BUILDING, Serrano 2014)

\*\*\*\*\*



**Fig. 5** – struttura XLam: comparsa di ife fungine nell'intorno dei nodi della struttura causa non corretto montaggio delle guaine e smorzatori acustici (courtesy IVALSA)

Circa l'esposizione del fabbricato (soprattutto in fase di cantiere) si deve tener presente la protezione dello stesso al fine di preservare la struttura dal contatto con l'acqua piovana; allo stesso modo si ricorda che (come da protocollo S.A.L.E.) è indispensabile procedere ad una registrazione dell'umidità degli elementi portanti prima della chiusura di pacchetti non ventilati.

Inoltre non devono essere usati materiali fibrosi (isolanti, quali ad es. lana di legno) che sono stati investiti da pioggia all'interno di pacchetti costruttivi.

Prima di passare a sviluppare alcuni esempi dedicati al posizionamento delle sonde, si ritiene inoltre opportuno riportare come nella concezione architettonica, progettuale ed esecutiva di un edificio a struttura di legno si debba tenere conto della regola delle 4D: deflection (deviare, allontanare), drainage (drenare), drying (asciugare) and durable materials (materiali durabili)

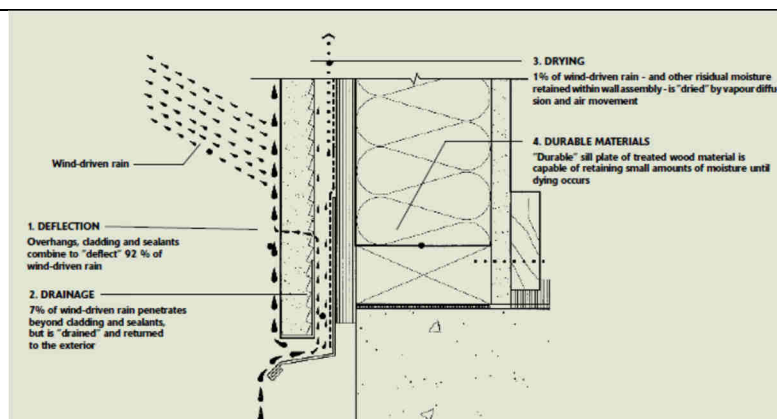


Fig. 6 – Regola delle 4D - Moisture and Wood-Frame Buildings; Canadian Wood Council

Inoltre nel posizionare le sonde igrometriche, il progettista del sistema di monitoraggio deve tener conto delle seguenti situazione e dei movimenti dell'acqua secondo lo schema di cui seguito (tali situazioni andrebbero comunque evitate attraverso lo studio di particolari costruttivi adeguati; si ricorda che i sistemi di monitoraggio hanno il compito di monitorare nel tempo le soluzioni costruttive adottate e non l'intero costruito).

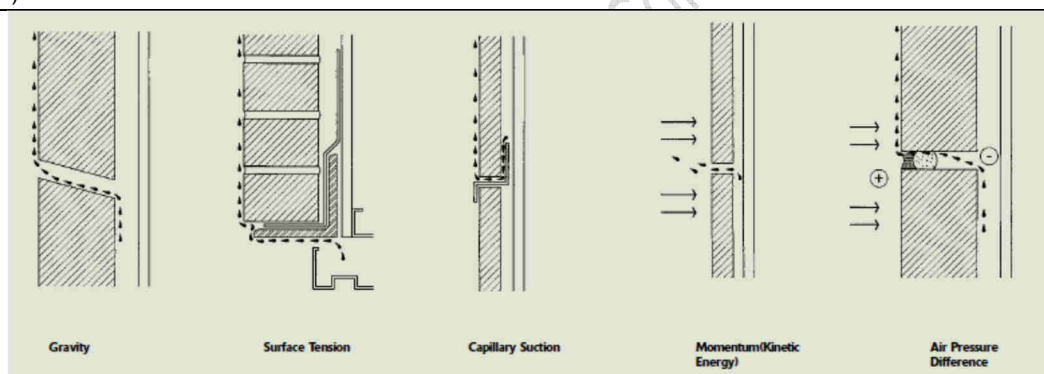


Fig. 7 – attenzione ai particolari costruttivi e indicazione circa i rischi di presenza di acqua all'interno dei pacchetti costruttivi - Moisture and Wood-Frame Buildings; Canadian Wood Council

Allo stesso modo si consiglia di porre sonde igrometriche sulla struttura generalmente in corrispondenza del:

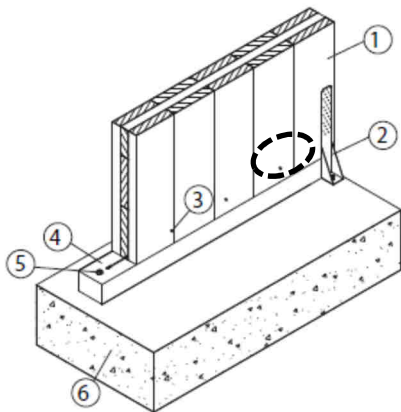
- **Zone umide (ad es. in corrispondenza dei bagni - Piatto doccia);**
- **In corrispondenza di aree critiche, quali ad esempio coperture piane, tetti a verde o comunque laddove si preveda un difficile deflusso delle acque meteoriche con relativo pericolo di ristagno e infiltrazione di umidità.**

### - Tecnologia Xlam

Di seguito si riportano esempi su dove porre le **sonde igrometriche (cerchio tratteggiato)** e **inclinometriche (rettangolo tratteggiato)**. Ogni singolo progetto, in funzione delle peculiarità e passaggi impiantistici necessita di uno studio specifico al fine di definire un sistema di monitoraggio che possa ottimizzare la manutenzione del fabbricato ed estendere la vita utile della struttura in legno.

o **Posizione delle sonde: igrometri *(esempi)***

**Attacco a terra –tecnologia XLAM**



**Legenda**

- 1 - Pannello di parete in XLAM
- 2 - Angolare per forze di trazione
- 3 - Viti di ancoraggio incrociate
- 4 - Soglia in legno
- 5 - Tassello di ancoraggio della soglia
- 6 – Fondazione

**Descrizione:**

Appoggio della parete in fondazione tramite soglia in legno  
 Collegamenti resistenti a trazione mediante hold-down  
 Collegamenti resistenti a taglio tra parete e soglia mediante viti incrociate  
 Collegamenti resistenti a taglio tra soglia e fondazione mediante tasselli

**Commenti**

La sonda per igrometrica quindi deve essere posta il più vicino possibile alla soglia in legno (o in cemento armato) al fine di poter segnalare una non corretta posa della guaina impermeabilizzante. Qualora sia possibile si consiglia di porre più sonde al piede delle strutture in funzione dell'esposizione della parete.

\*\*\*\*\*

**Balcone –tecnologia XLAM**

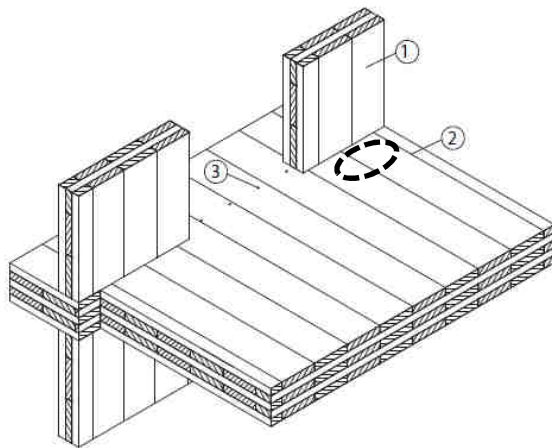
**Legenda**

- 1 - Pannello di parete in XLAM
- 2 - Pannello di solaio in XLAM
- 3 - Viti di ancoraggio

**Descrizione:**

Balcone realizzato come elemento di continuità del solaio  
 Collegamenti alla parete sottostante tramite viti di ancoraggio



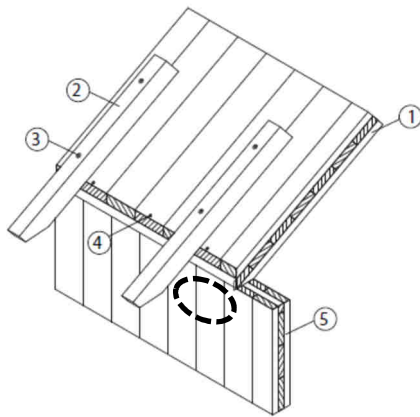


**Commenti**

La sonda igrometrica deve essere posta sulla porzione a sbalzo, il più vicino possibile al setto verticale. Nel caso in cui il balcone poggi su travetti, la sonda andrà posta preferibilmente come indicato per la tecnologia a telaio. **La presenza di ringhiere (infisse nella porzione a sbalzo) possono creare percorsi preferenziali di accumulo e condensa e che devono essere presi opportunamente in considerazione sia in fase di progetto che in fase di definizione del sistema di monitoraggio**

\*\*\*\*\*

**Collegamento della parete con solaio di copertura in pannelli XLAM– tecnologia XLAM**



**Legenda**

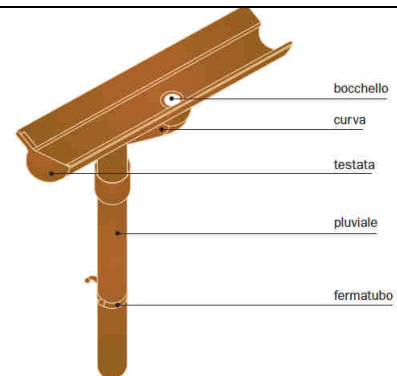
- 1 - Pannello di copertura in XLAM
- 2 - Travetti di gronda
- 3 - Viti di ancoraggio travetti-solaio
- 4 - Viti di ancoraggio solaio-parete
- 5 - Pannello di parete in XLAM

**Descrizione:**

Collegamento della parete con solaio di copertura in pannelli XLAM  
Realizzazione dello sporto di gronda mediante falsi travetti  
Viti di ancoraggio per il fissaggio dei travetti al solaio di copertura  
Viti di ancoraggio per il fissaggio del solaio di copertura alla parete

**Commenti**

La sonda igrometrica deve essere portata in corrispondenza all'altezza di gronda in prossimità del bocchello



\*\*\*\*\*

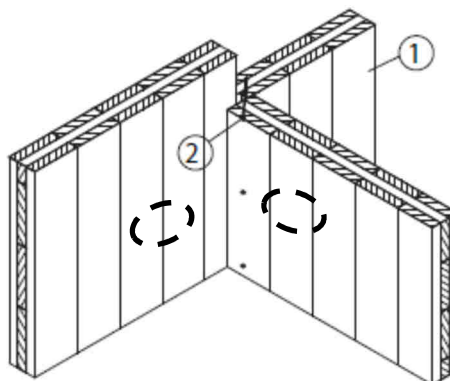
○ *Posizione delle sonde inclinometriche (esempi)*

In linea generale la posizione delle sonde inclinometriche devono essere poste in prossimità del solaio del primo piano (vedi fig. 8) e in corrispondenza della linea di gronda dal lato interno dell'edificio su due pareti poste perimetrali perpendicolarmente poste tra di loro (pareti con funzione portante):

---

**Collegamento parete- parete di incrocio XLAM**

---



**Commenti**

La sonde inclinometriche devono essere poste alla stessa altezza ad almeno 50 cm dall'angolo tra le due pareti.

**Legenda**

1 - Pannello di parete in XLAM  
2 - Viti di ancoraggio

\*\*\*\*\*



**Fig 8** – Qualora si formi un meccanismo a piano soffice, il primo piano si deforma fortemente e i superiori rimangono in pratica indeformati

Eventualmente ulteriori due sonde inclinometriche possono essere poste in corrispondenza delle altre due pareti d'angolo poste in modo diametralmente opposto alle prime.

- **Tecnologia a telaio**

Valgono le medesime considerazioni fatte in precedenza per la tecnologia X-lam.

o **Posizione delle sonde: igrometri (esempi)**

---

**Attacco a terra –tecnologia a telaio**

---

**Legenda**

1 - Montante esterno  
2 - Montante intermedio  
3 - Traverso  
4 - Foglio di rivestimento  
5 - Angolare per forze di trazione  
6 - Piastra per forze di taglio  
7 - Tassello di ancoraggio della soglia

	<p>8 - Soglia in legno 9 - Fondazione</p> <p><b>Descrizione:</b> Appoggio della parete in fondazione tramite soglia in legno Collegamenti resistenti a trazione mediante hold-down Collegamenti resistenti a taglio tra parete e soglia mediante piastre forate Collegamenti resistenti a taglio tra soglia e fondazione mediante tasselli</p>
--	--

**Commenti**  
La sonda igrometrica quindi deve essere posta il più vicino possibile alla soglia in legno (o in cemento armato) al fine di poter segnalare una non corretta posa della guaina impermeabilizzante (la stessa sonda deve essere posta in corrispondenza del montante in legno). Qualora sia possibile si consiglia di installare più sonde al piede delle struttura in funzione dell'esposizione della parete.

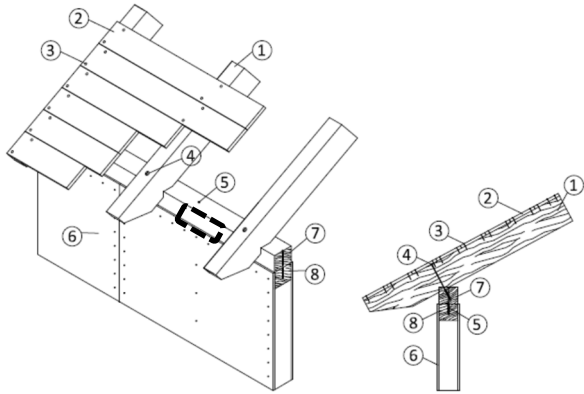
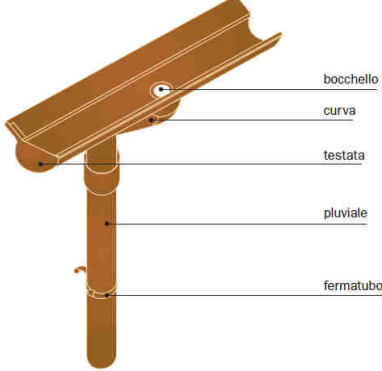
\*\*\*\*\*

**Balcone – tecnologia a telaio**

<p><b>Descrizione:</b> Balcone realizzato come elemento di continuità del solaio a travetti Collegamenti alla parete sottostante tramite viti di ancoraggio</p>	<p><b>Legenda</b></p> <table border="0"> <tr> <td>1 - Montante esterno</td> <td>6 - Elemento ligneo di riempimento</td> </tr> <tr> <td>2 - Montante intermedio</td> <td>7 - Traverso</td> </tr> <tr> <td>3 - Foglio di rivestimento</td> <td>8 - Solaio di travetti in legno</td> </tr> <tr> <td>4 - Traverso</td> <td>9 - Viti di ancoraggio</td> </tr> <tr> <td>5 - Foglio di rivestimento solaio</td> <td>10 - Tavolato</td> </tr> </table> <p><b>Commenti</b> La sonda igrometrica deve essere posta sulla porzione esterna, il più vicino possibile al setto verticale in corrispondenza del traverso. <b>La presenza di ringhiere (infisse nella porzione a sbalzo) possono creare percorsi preferenziali di accumulo e condensa e che devono essere presi opportunamente in considerazione sia in fase di progetto che in fase di definizione del sistema di monitoraggio</b></p>	1 - Montante esterno	6 - Elemento ligneo di riempimento	2 - Montante intermedio	7 - Traverso	3 - Foglio di rivestimento	8 - Solaio di travetti in legno	4 - Traverso	9 - Viti di ancoraggio	5 - Foglio di rivestimento solaio	10 - Tavolato
1 - Montante esterno	6 - Elemento ligneo di riempimento										
2 - Montante intermedio	7 - Traverso										
3 - Foglio di rivestimento	8 - Solaio di travetti in legno										
4 - Traverso	9 - Viti di ancoraggio										
5 - Foglio di rivestimento solaio	10 - Tavolato										

\*\*\*\*\*

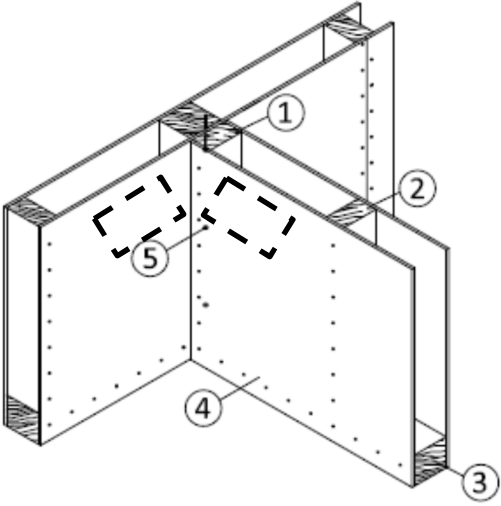
**Collegamento della parete con solaio di copertura a travi– tecnologia telaio**

	<p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 - Travi di copertura</li> <li>2 - Tavolato</li> <li>3 - Chiodi di ancoraggio tavolato-travi</li> <li>4 - Viti di ancoraggio travi-banchina</li> <li>5 - Viti di ancoraggio banchina-parete</li> <li>6 - Foglio di rivestimento</li> <li>7 - Banchina in legno</li> <li>8 - Traverso</li> </ul> <p><b>Descrizione:</b></p> <p>Collegamento della parete con solaio di copertura a travi Travi intagliate in corrispondenza dell'appoggio Viti di ancoraggio per il fissaggio delle travi di copertura alla banchina Viti di ancoraggio per il fissaggio della banchina alla parete</p>
<p><b>Commenti</b></p> <p>La sonda igrometrica deve essere posta in corrispondenza all'altezza di gronda (in prossimità del bocchello)</p>	

○ **Posizione delle sonde inclinometriche (esempi)**

In linea generale la posizione delle sonde inclinometriche devono essere poste in prossimità del solaio del primo piano (vedi fig. 8) e in corrispondenza della linea di gronda dal lato interno dell'edificio su due pareti poste perimetrali perpendicolarmente poste tra di loro (pareti con funzione portante):

**Collegamento parete- parete di incrocio tecnologia a telaio**

<p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 - Montante esterno</li> <li>2 - Montante intermedio</li> <li>3 - Traverso</li> <li>4 - Foglio di rivestimento</li> <li>5- Viti di ancoraggio</li> </ul>	
<p><b>Commenti</b></p> <p>La sonde inclinometriche devono essere poste alla stessa altezza in corrispondenza con la linea di gronda e dal lato interno sul montante intermedio.</p>	<p><b>Descrizione:</b></p> <p>Collegamento parete-parete d'angolo tramite viti di ancoraggio in corrispondenza del montante esterno</p>

**i) Procedure operative**

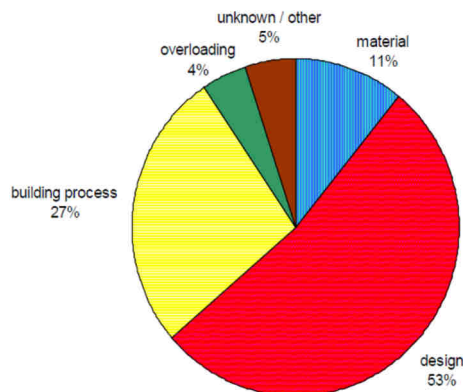
Nel settore dell'edilizia in legno si possono avere numerose variabili da tenere in considerazione sia in fase di produzione, in cantiere e nel processo di edificazione dell'opera.

Relativamente i sistemi di monitoraggio, integrati all'interno del presente protocollo, devono prima di tutto supportare lo studio e l'analisi del comportamento strutturale durante la vita d'esercizio dell'opera. Inoltre le cause che possono portare a funzionamenti parziali dell'ossatura portante (o al collasso della stessa opera) possono essere ricercate nelle seguente schematizzazione:

<b>Materiali e Prodotti</b>	1. Performance dei prodotti in legno
	2. Errori durante la produzione
	3. Basso livello di definizione procedurale a carico del produttore
<b>Lavori di edificazione</b>	4. Alterazioni in situ dei prodotti da costruzione
	5. Bassa de definizione procedurale a carico del costruttore
<b>Progettazione e programmazione</b>	6. Progettazione non sufficiente / parziale considerazione dei carichi in gioco
	7. Progettazione non sufficiente / parziale considerazione delle condizioni di contorno in gioco
<b>Sovraccarico della struttura in relazione alle disposizioni in materia</b>	8. Regole di calcolo
<b>Altro</b>	////////////////////////////////////

**Tab1** – Classificazione degli errori nel determinare un crollo / collasso della struttura; fonte: Robustness evaluation of failed timber structures - Eva Frühwald, S. Thelandersson, Lund University ; Ludovic Fülöp, Tomi Toratti, VTT (2008)

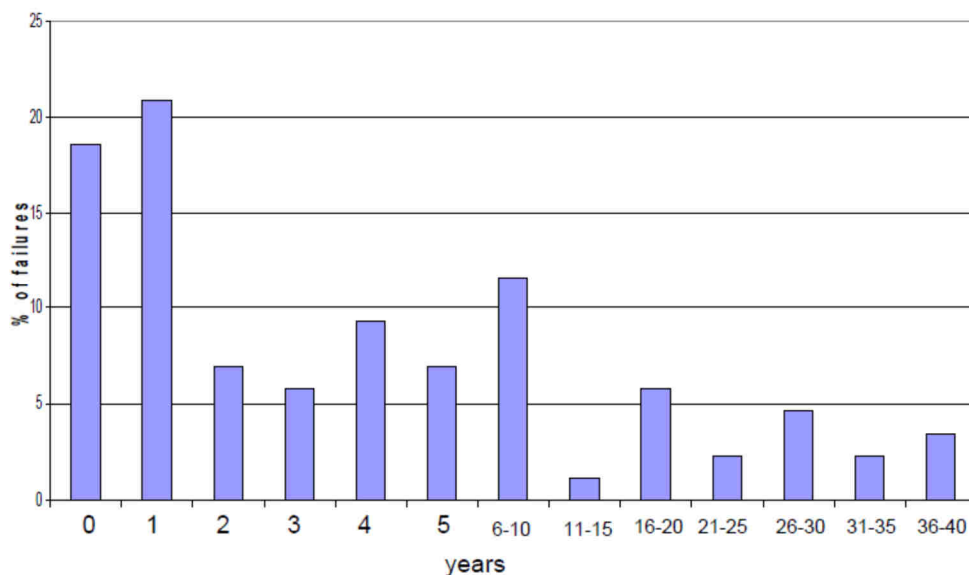
Su 127 casi analizzati dallo studio " Robustness evaluation of failed timber structure" è stata definita la distribuzione degli errori nel processo di realizzazione di un'opera:





**Fig. 8** – Errori nel processo di edificazione; fonte: Robustness evaluation of failed timber structures - Eva Frühwald, S. Thelandersson, Lund University ; Ludovic Fülöp, Tomi Toratti, VTT (2008)

Un dato sistema di monitoraggio, può aiutare nel prevenire fenomeni di degrado – soprattutto nei primi anni della costruzione (vedi fig. 9), ma naturalmente la realizzazione non può prescindere da un corretto approccio sia di tipo architettonico che ingegneristico.



**Fig. 9** – Età della costruzione e distribuzione degli errori in funzione del tempo

Infine, a seguito dell'attivazione di un segnale di rischio (tramite un monitoraggio in continuo o periodico):

- Si deve procedere con una diagnosi della struttura, prevedendo laddove possibile dei punti di ispezione già in fase progettuale;
- Si deve procedere ad identificare la causa di tale anomalia;
- Si devono attuare tutte le misure di attenuazione del rischio affinché la stessa causa non si verifichi e non venga ad essere amplificata;
- Si devono identificare soluzioni di ripristino, qualora il materiale risulti essere oggetto di degrado sia di tipo biologico che di tipo meccanico.

#### **j) Quando risulta necessario per il protocollo S.A.L.E. installare un sistema di monitoraggio**

Un sistema di monitoraggio può essere installato, in seguito:

- Della richiesta di istituto di credito ai fini della delibera del mutuo;
- Della richiesta di un ente assicurativo;
- Della richiesta del committente

Qualora il sistema di monitoraggio non sia stato installato causa la mancanza delle condizioni di cui sopra, il soggetto certificato S.A.L.E si impegna ad installare un sistema di monitoraggio (periodico o continuo) su almeno 1 edificio ogni 10 realizzati.

### **Appendice 1. Monitoraggio sismico**

In merito a questo aspetto e qualora venga richiesto dalla committenza (o secondo uno dei punti indicati all'interno del par. 15) può essere eseguito un monitoraggio di lungo periodo (ogni 10 anni) seguendo quanto

elaborato nel paper: *Comparison of multi-storey cross-laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis* - Thomas Reynolds, Daniele Casagrande, Roberto Tomasi (2015)

## Appendice 2. Riferimenti bibliografici

- EN 13986 Wood-based panels for use in construction – Characteristics, evaluation of conformity and marking
- EN 336 Structural timber - Sizes, permitted deviations
- EN 14080 Timber structures – GLT / GST – Requirements
- EN 14081-1 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross-section – Part 1, General requirements
- EN 14250 Timber structures – Production requirements for fabricated trusses using punched metal plate fasteners
- EN 14279 Laminated veneer lumber (LVL) – Specifications, definitions, classification and requirements
- EN 14358 Timber structures – Fasteners and wood-based products – Calculation of characteristic 5-percentile value and acceptance criteria for a sample
- EN 14374 Timber structures – Structural laminated veneer lumber – Requirements
- EN 14545 Timber structures – Connectors – Requirements
- EN 14592 Timber structures – Fasteners – Requirements
- EN 1995-1-1 Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General -Common rules and rules for buildings
- EN 1998-1 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings
- EN 335-1 Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack – Part 1:General
- EN 335-2 Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack – Part 2: Application to solid wood
- EN 335-3 Durability of wood and wood-based products – Definition of hazard classes of biological attack – Part 3: Application to wood-based panels
- 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
- EN 350-1 Durability of wood and wood-based products – Preservative treated solid wood – Part 1: Classification of preservative penetration and retention
- EN 384 Structural timber - Determination of characteristic values of mechanical properties and density
- 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
- EN 594 Timber structures – Test methods – Racking strength and stiffness of timber frame wall panels
- 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

2001, Bridge inspection and Maintenance manual (Transit new Zeland)

2004, ESTIMATING SEISMIC DAMAGE AND REPAIR COSTS, Raymond Foltz The Citadel Texas A&M Advisor: Dr. Mary Beth Hueste

2005, Earthquake Spectra, Volume 21, No. 4, pages 901–927,; Earthquake Engineering Research Institute

2012, SHAKE TABLE TEST ON 3-STOREY LIGHT-FRAME TIMBER BUILDING, Tiziano Sartori, Daniele Casagrande, Roberto Tomasi, Maurizio Piazza

2012, Design and Implementation of A Structural Health - Monitoring and Alerting System for Hospital Buildings in the United States, United States Geological Survey, Menlo Park, CA, USA; Instrumental Software Technologies, Inc., NY, USA

2010, CANADIAN WOOD-FRAME HOUSE CONSTRUCTION, [www.cmhc.ca](http://www.cmhc.ca)

2013, Chapter 2 Seismic Monitoring of Structures and New Developments, Earthquakes and Health Monitoring of Civil Structures, Stato della California

2001, Understanding Biodeterioration of Wood in Structures, P.I. Morris - Wood Preservation Scientist - Composites and Treated Wood Products - Forintek Canada Corp.

2010, WOOD MOISTURE MONITORING DURING LOG HOUSE THERMAL INSULATION MOUNTING, P. Kotásková, Z. Havířová

2013, RATIONAL PROCEDURE FOR DAMAGE BASED SERVICEABILITY DESIGN OF STEEL BUILDINGS UNDER WIND LOADS AND A SIMPLE LINEAR RESPONSE HISTORY PROCEDURE FOR BUILDING CODES, Virginia Polytechnic Institute

#### LEARNING FROM FAILURES: CASE STUDIES

2012, Designing for Durability, rethink Wood - EDUCATIONAL-ADVERTISEMENT, [www. reThinkWood.com/CEU](http://www.reThinkWood.com/CEU)

2012, Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, 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

2012, Monitoring building climate and timber moisture gradient in large-span timber structures, P. Dietsch, A. Gamper, M. Merk, S. Winter, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion Technische Universität München, Germany

2008, Robustness evaluation of failed timber structures-Eva Frühwald, S. Thelandersson, Lund University Ludovic Fülöp, Tomi Toratti, VTT

2012, DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA STRUTTURALE E IDRAULICA: Utilizzo di dispositivi isteretici per l'isolamento di piano: strategie per una progettazione sismica di tipo multi-prestazionale, Stefano Gagliardi

2011, Wireless in situ measurements of moisture content and temperature in timber constructions, Karin Sandberg, Anna Pousette, Simon Dahlquist, SP Technical Research Institute of Sweden

2007, Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?, Eva Frühwald, Erik Serrano, Tomi Toratti, Arne Emilsson, Sven Thelandersson (University of Lund)

2015, RAPPORTO TECNICO UNI - LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO STRUTTURALE (rev. 10.11.15) UNI



2014, LONG TERM IN-SITU MEASUREMENTS OF DISPLACEMENT, TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY IN A MULTISTOREY RESIDENTIAL CLT-BUILDING, Erik Serrano, Bertil Enquist, Johan Vessby (Linnaeus University, Lund University, SP Technical Research Institute of Sweden)

2005, Un'introduzione al monitoraggio sismico. Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università degli Studi di Trento. Emiliano Debiassi Davide Trapani

Documento di proprietà di Assolegno / Conlegno - CONFIDENTIAL