

QUADERNI TECNICI DI ASSOLEGNO



OBIETTIVI, CONCEZIONE E DIMENSIONAMENTO

MONITORAGGIO DEGLI EDIFICI IN LEGNO

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it

FLA
FEDERLEGNOARREDO

Milano, dicembre 2022



Il presente volume fa parte della raccolta “I Quaderni Tecnici di Assolegno”, una serie di pubblicazioni redatte a cura della struttura di Assolegno di FederlegnoArredo che hanno l’obiettivo di promuovere il corretto uso del legno nelle costruzioni e di fornire chiarimenti in merito al quadro normativo vigente.

Sono autori di questa pubblicazione il Dott. Marco Luchetti (Responsabile di Assolegno), l’Ing. Matteo Izzi (Ufficio Tecnico di Assolegno) e l’Ing. Mauro Andreolli (Timbertech).

INTRODUZIONE AL QUADERNO TECNICO

Il presente lavoro nasce dalla volontà di Assolegno di fornire alcune utili indicazioni per il dimensionamento e la posa dei sistemi di monitoraggio che possano così rendere flessibili i concetti di manutenzione dell'opera, slegandola da specifici schemi di applicazione legati all'edificio o alla copertura realizzata.

In questo breve manuale tecnico-operativo si è cercato di riepilogare le diverse tipologie di sistemi che possono essere utilizzati all'interno della sfera del monitoraggio strutturale, precisando sin da queste premesse che non esiste "la tipologia di riferimento" ma lo stesso concetto di monitoraggio deve essere legato allo scopo per il quale viene applicato. Prima di tutto è quindi compito del progettista incaricato, con l'aiuto di un tecnologo, definire i punti e gli strumenti da utilizzare per conseguire l'obiettivo voluto.

Anche in un'ottica di economia circolare, il monitoraggio di una struttura diviene elemento fondamentale per raggiungere alcuni macro-obiettivi, in particolare:

- **Durabilità:** pianificare la vita utile dell'edificio e dei suoi elementi, promuovendo una visione progettuale di medio-lungo termine dei principali elementi costruttivi;
- **Adattabilità:** prolungare la "durata utile" dell'edificio nel suo complesso, facilitando la continuazione dell'uso previsto attraverso la progettazione e la realizzazione di sistemi costruttivi flessibili e facilmente trasformabili;
- **Riduzione e valorizzazione dei rifiuti:** facilitare il futuro uso circolare di componenti e parti dell'edificio, con particolare attenzione ad una minor produzione di rifiuti a seguito della decostruzione.

Marco Luchetti

Responsabile Assolegno

INDICE DEI CONTENUTI



INDICE DEI CONTENUTI

1	ASPETTI GENERALI	2
1.1	TERMINI E DEFINIZIONI	3
1.2	ATTORI DEL PROCESSO DI MONITORAGGIO	4
1.3	IL RUOLO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	5
1.3.1	UMIDITÀ DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI DI LEGNO	5
1.3.2	DEVIAZIONE DALLA CONFIGURAZIONE GEOMETRICA DI PROGETTO	7
2	OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO	10
2.1	CRITERI DI SCELTA E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	10
2.2	CAMPAGNA DI MONITORAGGIO	11
2.2.1	SPECIFICHE DEL SISTEMA DI MISURA	12
2.2.2	PERIODICITÀ DI ACQUISIZIONE	13
2.2.3	MANUALE DI INSTALLAZIONE	13
3	ESEMPI DI MISURAZIONE	16
3.1	LA REGOLA DELLE "4D"	16
3.2	ESEMPI DI POSIZIONAMENTO	19

1. ASPETTI GENERALI

1 ASPETTI GENERALI

Per meglio comprendere quanto di seguito riportato è opportuno precisare un concetto chiave: l'attività di monitoraggio non si sostituisce a una buona progettazione dell'edificio. Un edificio in legno, se ben progettato e realizzato, mantiene nel tempo le caratteristiche di sicurezza e stabilità meccanica in assenza di qualsiasi sistema di monitoraggio. In tal senso, il monitoraggio strutturale deve essere inteso come un elemento di supporto nelle fasi di manutenzione dell'opera anche al fine di prevenire eventuali imprevisti dovuti ad esempio a malfunzionamenti impiantistici.

Queste linee guida hanno quindi lo scopo di fornire agli utenti finali, nonché a progettisti e a installatori/manutentori, delle indicazioni utili alla concezione, progettazione, gestione, manutenzione ed utilizzazione dei sistemi per il monitoraggio strutturale di opere civili a struttura di legno.

I principi generali del presente manuale possono essere utilizzati anche per strutture in legno esistenti al fine di valutare i rischi di attacchi biologici di tipo fungino e ottimizzare le attività di manutenzione dell'opera.

In generale possono essere previsti sistemi di monitoraggio diversi in funzione del tipo e della complessità dell'opera, della disponibilità di spesa e delle esigenze del committente (sia questo un soggetto privato o pubblico). Da tale scelta dipende anche la pianificazione del monitoraggio che può comprendere:

- **Monitoraggio occasionale** (di breve durata): qualora vengano riscontrati fenomeni di degrado in un sistema e/o elemento strutturale esistente, al fine di ottimizzare i necessari interventi manutentivi, può essere necessario integrare le procedure di indagine conoscitiva eseguite con metodi tradizionali attraverso più approfonditi strumenti di analisi che osservino l'evoluzione dei sintomi del degrado e della loro correlazione con le azioni derivanti dall'esercizio.

Esempio: una struttura dove è mancata la necessaria manutenzione programmata, della quale si vogliono investigare le condizioni dei nodi costruttivi per valutare se gli stessi possono costituire un punto di debolezza a fronte di possibili attacchi di tipo biotico. L'osservazione viene limitata ad un tempo sufficiente a caratterizzare il fenomeno; trascorso detto periodo il sistema può essere almeno in parte rimosso

ed eventualmente reinstallato a seguito dei lavori di consolidamento allo scopo di verificarne l'efficacia. La durata tipica dei periodi di osservazione può variare da alcuni giorni o settimane fino ad uno o più anni (quando siano coinvolti fenomeni di tipo stagionale).

- **Monitoraggio periodico:** adottato quando è opportuno controllare dei fenomeni di degrado ben definiti; il sistema di monitoraggio può essere installato per periodi brevi (alcune ore o giorni) a cadenze predeterminate (alcuni anni), generalmente in accordo a programmi di ispezione e/o successivamente ad eventi potenzialmente pericolosi per l'integrità dell'opera.

Esempio: per investigare le variazioni di umidità della struttura lignea di un edificio attraverso l'installazione di elettrodi, permanentemente infissi nel legno ma 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 è permanentemente installato sulla struttura con l'obiettivo (teorico) di funzionare per l'intera vita dell'opera. I sensori adottati acquisiscono i dati in modo continuo o comunque a frequenze elevate (es. con diverse scansioni giornaliere) e le anomalie comportamentali vengono rilevate in tempo reale, generando segnali di attenzione o allarme quando determinati parametri superano soglie prestabilite. Nel progetto e nella gestione dei sistemi di monitoraggio deve essere considerata la durabilità del sistema di sensori e la sua manutenibilità, inclusa la possibilità di sostituire i sensori eventualmente danneggiati durante le fasi di utilizzo; analogamente, vanno considerate i problemi di gestione e aggiornamento dei componenti elettronici e dei sottosistemi software già in fase di progetto esecutivo.

Nota: si sottolinea che l'onere del rispetto dei requisiti di sicurezza e di durabilità dell'edificio è a carico del progettista, del direttore lavori e del costruttore (ognuno dei quali coinvolto secondo i propri profili di responsabilità).

1.1 TERMINI E DEFINIZIONI

Nei paragrafi che seguono viene adottata la seguente terminologia:

- *Monitoraggio strutturale*: rilevamento dello stato di una struttura e sua evoluzione nel tempo con misure strumentali al fine di determinarne lo stato di conservazione.
- *Struttura*: la tecnologia costruttiva in legno oggetto del monitoraggio.
- *Livelli di allerta*: insieme dei valori misurati volti a rappresentare la risposta della tecnologia costruttiva sotto l'effetto di eventuali azioni di degrado presenti.
- *Sensore*: qualsiasi dispositivo che fornisce un'informazione utile al monitoraggio strutturale.
- *Incertezza*: parametro che caratterizza la dispersione dei valori che sono attribuiti a un parametro/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*: nel caso dei sistemi strutturali, è rappresentato dall'insieme di relazioni tra le azioni (meccaniche/biotiche/fisiche) ad esso applicate e le risposte conseguenti, descritte attraverso misure strumentali ottenute con sensori.
- *Parametri di comportamento*: insieme dei parametri che rappresentano in forma numerica il comportamento della struttura significativi ai fini della determinazione della sua condizione di conservazione.
- *Danno strutturale*: qualsiasi variazione delle caratteristiche fisiche o meccaniche della struttura o di un suo componente che ne possa influenzare negativamente la prestazione; può essere causato da fenomeni di corrosione, di invecchiamento o di deterioramento dei materiali (per cause di origine biotica e abiotica).
- *Identificazione del danno*: procedura che accerta la presenza, la localizzazione e l'intensità di un danno strutturale attraverso l'analisi e l'interpretazione dei dati provenienti dal monitoraggio.

1.2 ATTORI DEL PROCESSO DI MONITORAGGIO

Di seguito si riepilogano le figure che prendono parte al processo di monitoraggio di una costruzione a struttura di legno:

- *Committente*: è in genere il proprietario della struttura o un altro soggetto che si assume la responsabilità della gestione del bene.
- *Progettista*: professionista incaricato di redigere il progetto strutturale dell'opera (o -nel caso di opere esistenti- di curarne la diagnosi e le procedure di ripristino).
- *Progettista del sistema di monitoraggio*: figura professionale che ha il compito di definire la posizione, il numero e la tipologia di sensori da porre in opera, tenendo in considerazione la complessità dell'edificio o dell'opera stessa. Può coincidere con il progettista strutturale.
- *Costruttore*: 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.
- *Direttore Tecnico della Produzione o Direttore Operativo o Ispettore di Cantiere*: figura professionale che sovrintende all'installazione del sistema di monitoraggio (ai fini del protocollo S.A.L.E. può coincidere con una delle figure sopra menzionate: progettista strutturale, progettista del sistema di monitoraggio o costruttore).

1.3 IL RUOLO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il controllo in esercizio di una struttura in legno è uno strumento essenziale per garantire una gestione ottimale del patrimonio edilizio, considerato che le stratigrafie realizzate sono difficilmente ispezionabili al termine dei lavori. Un sistema di monitoraggio può in tal senso portare un valore aggiunto nella razionalizzazione delle procedure di manutenzione dell'opera e prolungare conseguentemente la vita utile della costruzione.

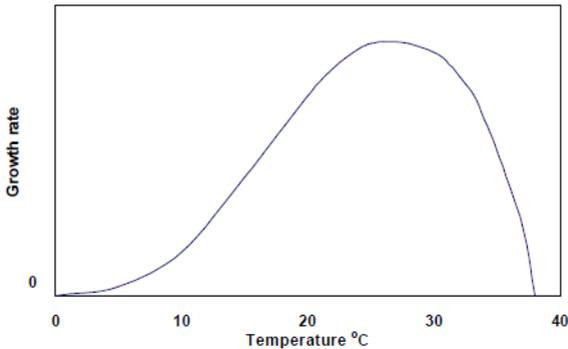
Gli elementi fondamentali che caratterizzano il processo di controllo riguardano il rilievo dell'umidità degli elementi strutturali in legno mediante sonde igrometriche posizionate in opportuni punti della costruzione, e la misura della deviazione delle partizioni strutturali dalla configurazione geometrica di progetto attraverso l'impiego di inclinometri.

1.3.1 Umidità degli elementi strutturali di legno

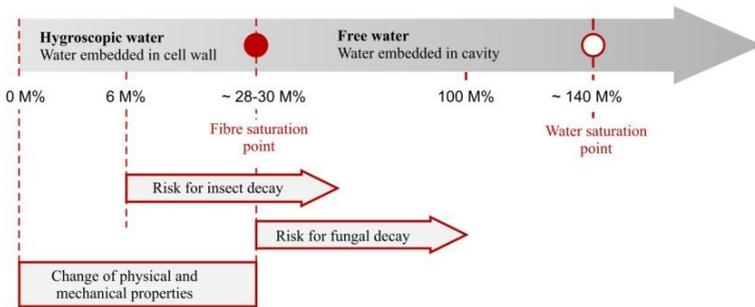
Considerato che, nel caso di un edificio a struttura di legno, gli elementi strutturali sono in classe di servizio 1 o 2, il sistema di monitoraggio dovrà essere dimensionato considerando

quelle situazioni (solitamente causate da errori progettuali o di esecuzione) in cui il legno raggiunge livelli di umidità superiore al 20%. In tali contesti, il legno è soggetto ad attacchi fungini che potrebbero provocarne il degrado biologico.

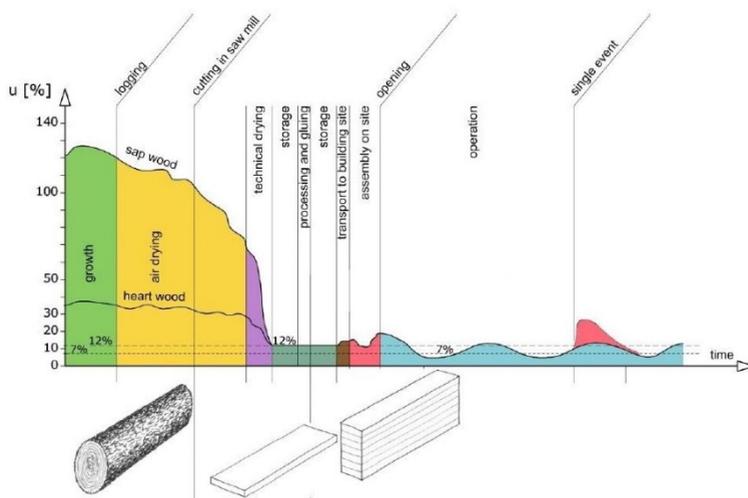
Nel valutare le soglie di allarme, giova sottolineare che la velocità di crescita del micelio fungino dipende dalla temperatura e sono massime attorno alle temperature “di comfort” solitamente presenti nelle abitazioni (tra 20°C e 25°C).



Tasso di crescita di un fungo basidiomicete in funzione della temperatura ambientale (fonte: *Understanding Biodeterioration of Wood in Structures - Forintek Canada Corp*)



Vulnerabilità del materiale al variare dell’umidità del legno (fonte: *Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts, progetto di ricerca del Politecnico di Monaco e dell’Università di Berna, 2015*)



Umidità del legno durante le fasi di produzione di una barra di legno lamellare incollato (fonte: Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts – progetto di ricerca del Politecnico di Monaco e dell'Università di Berna, 2015)

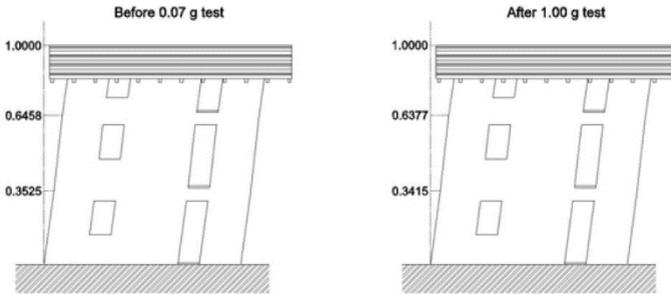
Ad altri tipi di attacco, quali ad esempio da insetti, sono difficilmente rilevabili dai sistemi di monitoraggio e devono essere presi in considerazione attraverso il controllo nel tempo di predeterminati punti della struttura così da evidenziare per tempo eventuali situazioni che richiedano interventi curativi e/o di consolidamento.

1.3.2 Deviazione dalla configurazione geometrica di progetto

La verifica della deviazione dalla configurazione geometrica di progetto delle partizioni strutturali è un parametro di interesse in presenza di edifici multipiano in legno (es. con tre o più piani fuori terra) mentre ha rilevanza inferiore nel caso di edifici più bassi.

Tale parametro diventa particolarmente significativo qualora venga monitorato lo stato di un edificio che ha subito l'impatto di un sisma e può essere valutato determinando il cosiddetto spostamento di interpiano o "inter-storey drift".

In termini tecnici, lo spostamento di interpiano è un parametro adimensionale espresso in punti percentuali e definisce il rapporto tra lo spostamento orizzontale (δ) di un opportuno punto di controllo rispetto all'altezza di interpiano dello stesso (H).



Esempio di inter-storey drift per un edificio a telaio leggero (fonte: Shaking Table Testing of a Full-Scale Prefabricated Three-Story Timber-Frame Building – Tomasi R., Sartori T., Casagrande D., Piazza M., Journal of Earthquake Engineering, 2015, 19:3, 505-534)

Al fine di individuare opportuni valori di soglia, si può far riferimento a quanto stabilito al §7.3.2 delle NTC per gli Stati Limite di danno, secondo cui il valore massimo del rapporto δ/H può essere al più pari a 1%. Valori al di sopra dell'1% possono indicare danni eccessivi ai componenti strutturali che potrebbero mettere a rischio l'integrità della costruzione e, per estensione, la vita degli occupanti della costruzione.

2. OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

2 OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

L'impiego dei sistemi di monitoraggio all'interno delle opere strutturali di legno ha come obiettivo l'individuazione di comportamenti anomali, non in linea con le previsioni o con le misure passate. I sistemi hanno quindi l'obiettivo di validare le soluzioni costruttive e non di definire la conformità del costruito al progetto e alle norme di riferimento.

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

- **Programmazione razionale della manutenzione:** la possibilità di classificare il deterioramento dell'opera in base all'entità del danno consente di razionalizzare l'attività ispettiva e di sorveglianza, che potrà essere svolta non più in base ad un rigido programma temporale ma concentrata sulle opere che mostrano i sintomi di degrado più gravi. Tale programmazione deve sempre trovare rispondenza in uno specifico libretto di manutenzione da consegnare alla committenza.
- **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.

2.1 CRITERI DI SCELTA E DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il sistema di monitoraggio deve essere progettato in relazione alle seguenti variabili:

- **L'importanza dell'opera:** deve essere valutata sia in termini di valore economico che funzione svolta (es. edifici pubblici o ingegneristicamente complessi devono possedere un grado di sofisticazione maggiore rispetto a quanto analizzato entro il presente elaborato);
- **Le condizioni ambientali:** il monitoraggio strutturale va previsto con una priorità più alta in presenza di ambienti altamente aggressivi (zone ad alto rischio sismico, condizioni climatiche estreme, ecc.) in considerazione di una più elevata possibilità di danno.

Si deve sottolineare ancora una volta che i sistemi di monitoraggio non si sostituiscono a scelte progettuali mirate a preservare la durabilità dell'edificio, né ad indagini di carattere diagnostico volte a verificare l'efficienza strutturale di una determinata opera.

2.2 CAMPAGNA DI MONITORAGGIO

Di seguito sono descritti due esempi che riprendono l'esperienza maturata applicando il **sistema di monitoraggio S.A.L.E. (Sistema Affidabilità Legno Edilizia)**.

Caso A: sistemi di monitoraggio per edifici fino a tre piani fuori terra

Il sistema è composto da:

- una serie di sonde igrometriche (4 sonde almeno);
- una centralina di raccolta dati;
- un sistema per la visualizzazione dei dati raccolti (es. monitor touchscreen);
- un sistema di elaborazione e condivisione dei dati in remoto.

Il sistema appena descritto è adeguato a costruzioni fino a 150 m² di superficie (in caso di superfici più estese va opportunamente scalato) e consente la misurazione con continuità l'umidità segnalando, con riferimento a specifiche soglie di allarme, gli eventuali rischi di degrado.

Caso B: sistemi di monitoraggio per edifici con più di tre piani fuori terra

- una serie di sonde igrometriche (6 sonde almeno);
- due sonde inclinometriche (da posizionarsi alla gronda e al primo interpiano);
- due centraline di raccolta dati;
- un sistema per la visualizzazione dei dati raccolti (es. monitor touchscreen);
- un sistema di elaborazione e condivisione dei dati in remoto.

Il sistema appena descritto è adeguato a costruzioni fino a 350 m² di superficie (in caso di superfici più estese va opportunamente scalato) e consente la misurazione con continuità l'umidità nonché di evidenziare eventuali deviazioni delle membrature strutturali rispetto alla configurazione di progetto.

2.2.1 Specifiche del sistema di misura

In questa sede si farà riferimento solo alle sonde, trascurando il calcolo dell'incertezza di misura della catena. In particolare:

- Per gli igrometri:
 - L'accuratezza richiesta è di $\pm 3\%$ (per almeno il 95% delle misurazioni)
 - Il campo di misura richiesto è compreso tra il 12% e 25%
 - Temperatura di funzionamento: -20°C a $+40^{\circ}\text{C}$
 - Lo strumento deve avere una vita utile e restituire dati affidabili per l'intera vita prevista dell'opera (si vedano a tal riguardo le NTC al §2.1)
 - 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 sospettino malfunzionamenti) può essere eseguita a carico del costruttore dell'opera con un set di resistenze campione (almeno tre) che prevedano un campo di misura tra 1 MOhm a 100 MOhm per misurazioni di umidità condotte conformemente alla UNI EN 13183-2
- Per le sonde inclinometriche:
 - L'accuratezza richiesta deve essere di $\pm 2\%$
 - La risoluzione richiesta deve essere dello $0,001^{\circ}$
 - Il campo di misura richiesto è compreso tra -5° e $+5^{\circ}$
 - Temperatura di funzionamento: -20 a $+40^{\circ}\text{C}$
 - Lo strumento deve avere una vita utile e restituire dati affidabili per l'intera vita prevista dell'opera (si vedano a tal riguardo le NTC al §2.1)
 - I processi di taratura devono essere eseguiti dal costruttore dello strumento prima della posa in opera; al momento dell'installazione è necessario prevedere un aggiornamento delle letture di zero

Ai fini del monitoraggio permanente si prevede l'utilizzo di sensori wireless (o collegati tramite cavi) che possano trasmettere le informazioni a dispositivi di acquisizione dati atti a restituire i dati in forma leggibile all'utilizzatore finale. Le stesse sonde possono essere

alimentate mediante batterie (nel presente caso devono poter essere cambiate dal committente) o in alternativa cablate con l'impianto elettrico dell'edificio.

2.2.2 Periodicità di acquisizione

Nel caso di monitoraggio permanente si assume che l'acquisizione avvenga in continuo; se tale situazione non è realizzabile, si consiglia un periodo di acquisizione non inferiore alle 12 ore. Viceversa, nel caso di monitoraggio periodico, la periodicità delle rilevazioni deve essere definita all'interno del libretto di manutenzione del fabbricato.

In relazione al pretrattamento dei dati, si menziona che lo stesso ha lo scopo di:

- migliorare la qualità del dato misurato;
- eliminare gli effetti del "rumore";
- trasformare i dati in valori ingegneristici.

Il dispositivo di acquisizione deve essere dimensionato e concepito per l'acquisizione del segnale sia da parte delle sonde inclinometriche che da parte degli igrometri. Per quanto riguarda il software, questo deve permettere la ricerca, la modifica, l'elaborazione e la rappresentazione dei dati, nonché il controllo dei parametri di acquisizione e analisi, con particolare riferimento alle soglie di rischio impostate.

2.2.3 Manuale di installazione

Il sistema di monitoraggio dovrà essere corredato di un manuale di installazione, completo di disegni e schemi esplicativi, che riporti le istruzioni per l'installazione delle componenti hardware (sensori, cablaggi, unità di acquisizione, dispositivi di comunicazione dati) e le istruzioni per l'utilizzo 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 in termini di posizionamento degli stessi;
- le istruzioni per il cablaggio dei sensori, comprensive di schemi elettrici e immagini esplicative dei connettori;

- le istruzioni per l'esecuzione dell'impianto, comprensive di tavole grafiche che riportino il percorso dei cavi e la loro protezione (ad esempio mediante canale) e l'eventuale interazione con gli impianti esistenti;
- le istruzioni per il montaggio delle unità di acquisizione e relativi accessori.

La parte del manuale riguardante l'utilizzo 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 in remoto.

Il manuale di installazione dovrà prevedere delle specifiche per l'uso e la manutenzione del sistema di monitoraggio. La manutenzione ordinaria del sistema è in genere affidata al committente e comprende 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).

Di contro, la manutenzione straordinaria è richiesta quando (per eventi non previsti o per superamento della vita utile) si debbano sostituire parti significative del sistema. Tali situazioni riguardano in generale le componenti elettroniche del sistema divenute per varie ragioni obsolete o danneggiate e non più riparabili.

3. ESEMPI DI MISURAZIONE

3 ESEMPI DI MISURAZIONE

Numero e posizione dei punti di misura dipendono da numerosi fattori, tra cui la tipologia strutturale, gli obiettivi del monitoraggio, l'accuratezza richiesta e la strumentazione che si prevede di utilizzare. Di seguito si riportano alcuni esempi per opere di modesta entità (edifici residenziali fino a tre piani fuori terra), eventualmente implementabile a seconda del rischio sismico e/o della vulnerabilità dell'edificio a fattori di degrado biotico.

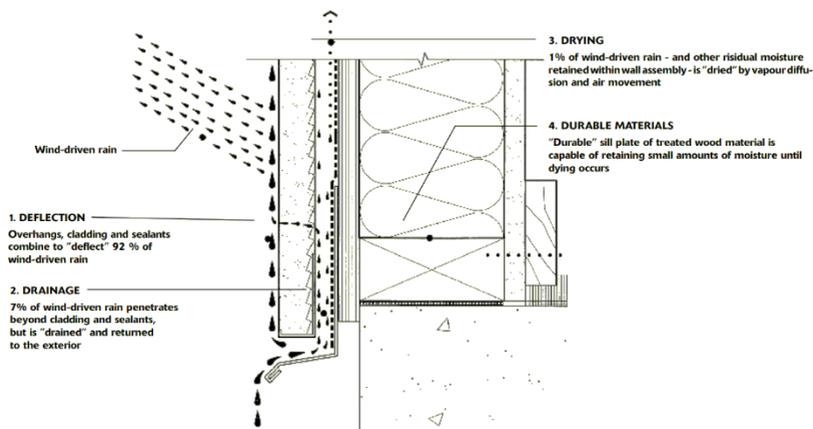
In primis, nel processo di definizione del sistema di monitoraggio devono essere presi in considerazione per lo meno i seguenti fattori:

- esposizione del fabbricato;
- venti dominanti;
- pioggia di stravento;
- superfici piane che possono essere "veicolo" di accumulo di acqua.

Devono essere inoltre oggetto di opportune considerazioni quegli elementi che possono avere un'influenza nel comportare un degrado di tipo biotico e/o abiotico o meccanico. È infine buona norma prevedere degli appositi punti di ispezione in corrispondenza delle sonde, per le procedure di manutenzione ordinaria e/o di sostituzione nonché qualora sia necessario effettuare una taratura o la verifica del corretto funzionamento.

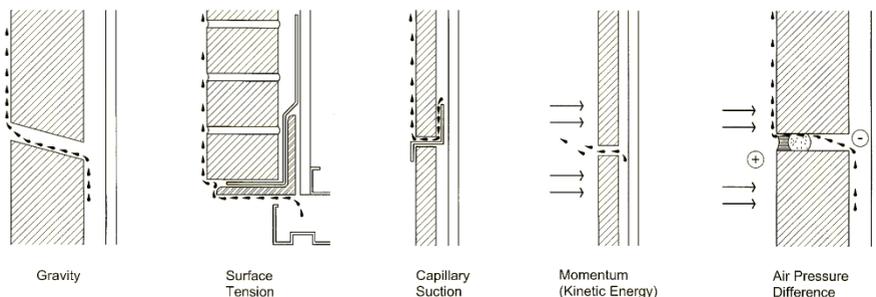
3.1 LA REGOLA DELLE "4D"

Per il posizionamento delle sonde igrometriche è buona regola confrontare la concezione architettonica richiesta con quanto previsto dalla regola delle "4D" (deflection - deviare, allontanare, drainage - drenare, drying - asciugare e durable materials - materiali durabili). Tale confronto è utile prima di tutto per definire meglio eventuali zone a rischio di degrado biologico.



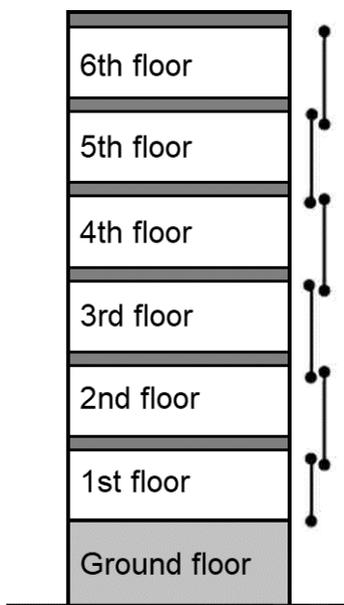
Regola delle 4D - Moisture and Wood-Frame Buildings (fonte: Canadian Wood Council)

Nel posizionare le sonde igrometriche, il progettista del sistema di monitoraggio deve tener conto dei possibili movimenti dell'acqua secondo lo schema riportato di 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).



Regola delle 4D - Schematizzazione dei movimenti dell'acqua per gravità, tensione superficiale, energia cinetica e differenza di pressione (fonte: Canadian Wood Council)

Di seguito si riporta una situazione esemplificativa per il posizionamento delle sonde igrometriche (in assenza di oggetti e senza considerare gli impianti).



Esempio di posizionamento delle sonde igroscopiche nel caso di un edificio multipiano in legno (fonte: Long term in-situ measurements of displacement, temperature and relative humidity in a multistorey residential CLT-building, Serrano 2014)

Come visibile dall'immagine soprastante, ogni piano è provvisto di sonde (rappresentate da una sfera) nell'intorno del nodo di attacco a terra, del nodo parete/solaio e del nodo parete/solaio di copertura. 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 di altri fattori di rischio può identificare diversa posizione delle sonde al fine di ottimizzare la tecnologia di monitoraggio utilizzata. In generale, durante l'esecuzione delle opere, dovrà essere prestata particolare attenzione alla corretta posa delle guaine e degli smorzatori acustici. L'errato posizionamento di tali componenti può provocare delle infiltrazioni (accumuli di acqua) tra le pareti e i solai, creando le condizioni per lo sviluppo di funghi e altri agenti patogeni. Si deve altresì porre attenzione ai passaggi impiantistici e alla presenza di zone umide, che potrebbero creare situazioni di rischio per la struttura di legno.

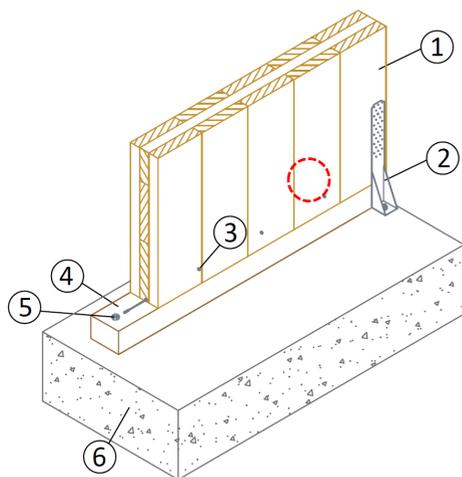
Allo stesso modo si consiglia di porre sonde igrometriche sulla struttura generalmente in corrispondenza:

- delle zone umide (ad esempio in corrispondenza del piatto doccia dei bagni);
- delle aree critiche, quali ad esempio coperture piane, tetti verdi o laddove possa esserci un deflusso difficoltoso delle acque meteoriche, con relativo pericolo di ristagno di acqua e infiltrazione di umidità.

3.2 ESEMPI DI POSIZIONAMENTO

Di seguito si riportano esempi su dove porre le sonde igrometriche (indicate con un cerchio rosso tratteggiato) e inclinometriche (indicate con un rettangolo verde tratteggiato). Le immagini fanno riferimento a sistemi massicci (sistemi CLT – cross laminated timber) ma sono ugualmente valide anche per altre tecnologie costruttive come quelle a telaio oppure blockhaus.

Sonda igrometrica in corrispondenza dell'attacco a terra



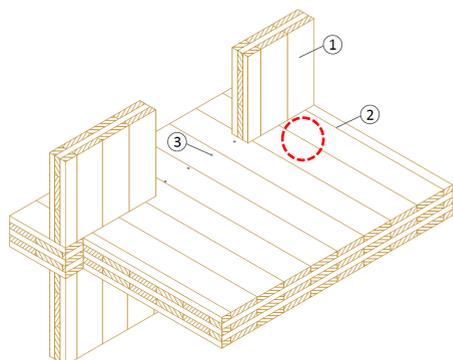
Legenda

- 1 – Pannello di parete in CLT
- 2 – Connettore per forze di trazione
- 3 – Viti di ancoraggio incrociate
- 4 – Trave radice di legno in legno
- 5 – Tassello di ancoraggio della radice
- 6 – Fondazione

Commenti

La sonda igrometrica deve essere posta alla base della parete per segnalare gli eventuali aumenti di umidità associati ad una posa errata della guaina impermeabilizzante. Quando possibile, si consiglia di mettere più sonde al piede della struttura.

Sonda igrometrica in corrispondenza del nodo balcone



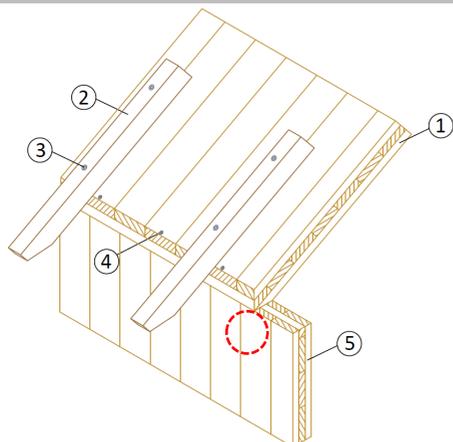
Legenda

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

Commenti

La sonda igrometrica deve essere posta in corrispondenza della porzione a sbalzo, il più vicino possibile al setto verticale. La presenza di ringhiere (nella porzione a sbalzo) può creare percorsi preferenziali di accumulo dell'acqua e possibile formazione di condensa. Devono pertanto essere prese in considerazione sia in fase di progetto che di definizione del sistema di monitoraggio.

Sonda igrometrica in corrispondenza del nodo tra parete e solaio di copertura



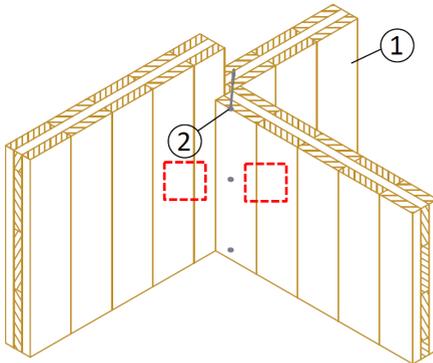
Legenda

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

Commenti

La sonda igrometrica deve essere posta in corrispondenza del pluviale

Sonde inclinometriche in corrispondenza del collegamento tra pareti ortogonali



Legenda

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

Commenti

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

Due ulteriori due inclinometriche possono essere poste in corrispondenza di altre due pareti d'angolo poste in posizione opposta rispetto alle prime.

Il numero di sonde può essere incrementato in special modo qualora vi siano meccanismi di piano soffice





FEDERLEGNOARREDO

ASSOLEGNO

Foro Buonaparte 65, 20121 Milano

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it