30

legnoarchitettura

incontri

Mole Architects

progetti

Mole Architects

Christian Schwienbacher

Canzi – Redaelli

Ruca Projectos

Jimmi Pianezzola Architetto

Skylab Architecture

Claudio Cortella, Sintec Home

Steven Holl Architects

techné

Il sistema di monitoraggio S.A.L.E.

La cappella di Anoalite

topic

luoghi per l'anima

ISSN 2039-0858

EdicomEdizioni

Trimestrale anno IX
n° 30 gennaio 2018
Euro 15,00

Registrazione Trib. Gorizia
n. 4 del 23.07.2010

Poste italiane S.p.A.
Spedizione in a.p. D.L. 353/2003
(conv. in L. 27/02/2004 n.46)
art. 1, comma 1 NE/UD

Marco Luchetti, Alberto Cavalli

Il monitoraggio negli edifici in legno

Il sistema S.A.L.E.

Marco Luchetti
Responsabile Normativa & certificazione - FederlegnoArredo

Alberto Cavalli
Area Tecnica Legno Strutturale - Conlegno

Lo sviluppo delle costruzioni in Italia

Dopo decenni di presenza marginale, a partire dagli anni '80, si è potuto assistere a un graduale ritorno dei sistemi costruttivi in legno nel panorama edile italiano. La produzione domestica di legno lamellare ha reso disponibile sul mercato nazionale, già dalla fine degli anni '70, un prodotto ingegnerizzato che, a piccoli ma veloci passi, ha conquistato la fiducia di progettisti e committenti, soprattutto nell'ambito delle coperture. Parallelamente, i sistemi di prefabbricazione per case e piccoli edifici in legno sviluppavano le tecnologie block-haus e telaio per l'edilizia residenziale, che tuttavia rimarrà ancora per lungo tempo ancorata ai sistemi costruttivi tradizionali del cemento armato e del laterizio. Gli anni '90 hanno visto la maturazione del settore legno nelle costruzioni e la nascita di numerosi operatori industriali e artigianali, ma è con l'avvio del nuovo millennio che una vera e propria rivoluzione tecnologica avviene nel modo di costruire con il legno. Diversi sono i fattori che intervengono. La comparsa sul mercato del CLT – o X-lam – dà un notevole impulso all'edilizia in legno che vede l'utilizzo dei pannelli a strati incrociati di tavole dapprima negli edifici a due-tre piani per estendersi poi anche agli edifici più alti. La crisi internazionale del 2008 interessa fortemente anche il nostro paese e in particolare il set-

tore immobiliare, tuttavia l'industria delle costruzioni in legno, sia pur con qualche scossone e convulsione, conquista fette di mercato importanti, mostrando grande dinamismo e vedendo la nascita di nuovi operatori. La consapevolezza crescente che le costruzioni debbano rispondere sempre più a criteri di sostenibilità e di efficienza energetica contribuisce a creare un terreno favorevole per il settore del legno da costruzione non solo tra gli addetti ai lavori ma anche in una vasta fascia dell'opinione pubblica in generale.
L'importanza del costruire bene – in una fase così dinamica e cruciale, nella quale gli indicatori di fiducia dei consumatori, dei progettisti, degli imprenditori, delle assicurazioni e persino delle banche nei confronti delle costruzioni in legno continuano a crescere – diventa essenziale, così come è essenziale mantenere e incrementare il livello di qualità del costruito. Notevoli sforzi sono stati compiuti in questi ultimi decenni da parte delle aziende e dalle associazioni di categoria per stimolare l'impiego del legno come materiale da costruzione. È in questo processo di continua ricerca e di miglioramento da parte di Assolegno, rivolto alle aziende costruttrici di tecnologie costruttive in legno, che si inserisce il sistema di monitoraggio S.A.L.E. (Sistema Affidabilità Legno Edilizia).

I sistemi di monitoraggio: un po' di storia

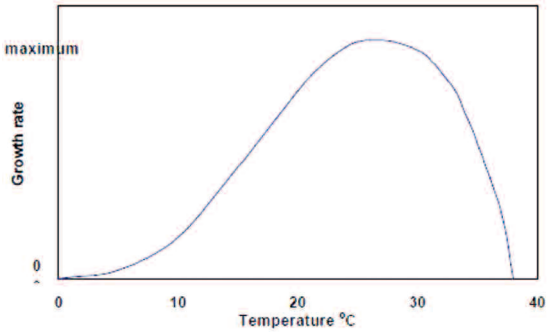
Le prime esperienze di controllo strumentale di strutture in legno risalgono agli anni '80, quando negli Stati Uniti venne avviata un'attenta campagna di monitoraggio strutturale di ponti in legno. A quei tempi il monitoraggio aveva lo scopo di verificare il comportamento di alcuni ponti realizzati sulla base di nuove tecniche costruttive. Le prime attività erano basate sulla ripetizione, normalmente a distanza di anni, di misure e ispezioni, al fine di rilevare nel tempo eventuali scostamenti rispetto alle situazioni/misurazioni iniziali (monitoraggio periodico).
In altri casi il controllo strumentale veniva utilizzato per verificare – all'occorrenza – lo stato di conservazione di una struttura (monitoraggio occasionale).
Questi due sistemi di monitoraggio (periodico e occasionale) hanno il limite di fornire informazioni e misurazioni solo nel momento in cui vengono realizzati, mentre non offrono nessun dato nel periodo che intercorre tra un evento e il successivo, che può avvenire anche a diversi anni di distanza.
Tali tipi di osservazione trovano ancora oggi giustificazione ma, grazie alle moderne possibilità tecnologiche, sono stati affiancati da un monitoraggio che può, almeno potenzialmente, seguire l'edificio per tutta la sua vita ed è in grado di acquisire dati e informazioni a intervalli molto brevi (monitoraggio continuo).
Il monitoraggio continuo sfrutta la possibilità di utilizzare sistemi in grado di effettuare misurazione a intervalli anche brevissimi, qualora necessario, in totale autonomia. Un tale tipo di sistema è formato da sensori, sistemi di acquisizione dei dati, unità di immagaz-

Nella pagina a fianco, il fronte su Viale Giannotti a Firenze dell'edificio E.R.P., oggetto di monitoraggio con il sistema S.A.L.E.

Qui sotto, il retro dell'edificio in linea.

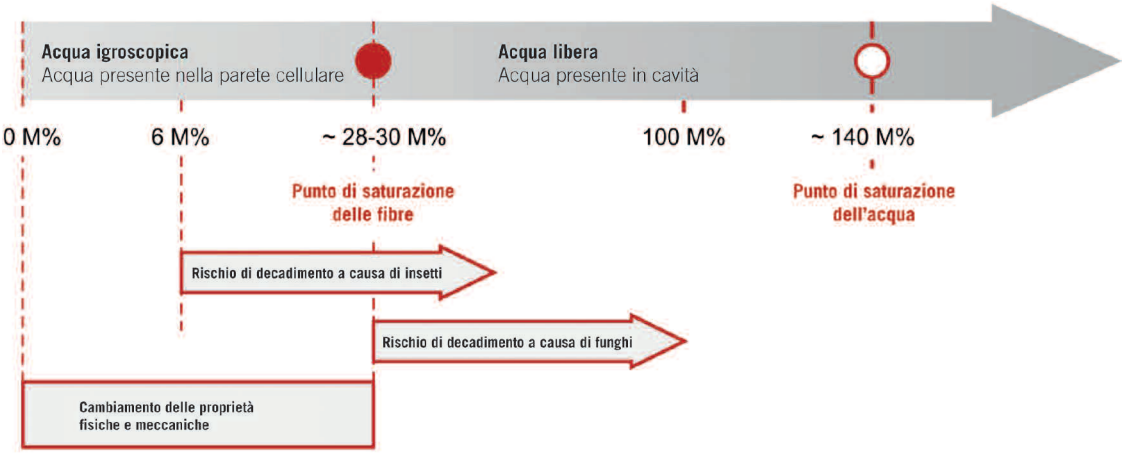
L'edificio E.R.P. è stato progettato da: arch. V. Esposito - CASA S.p.A. (RUP); arch. M. Barone - CASA S.p.A. (RUP); prof. C. Canepari, arch. M. Canepari - Studio Canepari.

Credits: CASA S.p.A.



A sinistra, 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).

Sotto, 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).



zinamento/trasmissione dei dati, sistema di analisi e interpretazione dei risultati.
In tale ottica, dunque, un sistema di monitoraggio di questo tipo svolge un ruolo importante nella gestione di una struttura, contribuendo a razionalizzare gli interventi di manutenzione e a identificare precocemente eventuali danni strutturali o situazioni di rischio, contribuendo a estendere la vita residua della struttura stessa.
L'impiego di un sistema di monitoraggio trova inoltre giustificazione nel concetto di durabilità riportato all'interno delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), poiché contribuisce al mantenimento dei livelli prestazionali previsti per una specifica struttura, tenendo conto delle condizioni ambientali e del livello di manutenzione applicabile.

Umidità del legno & proprietà del legno

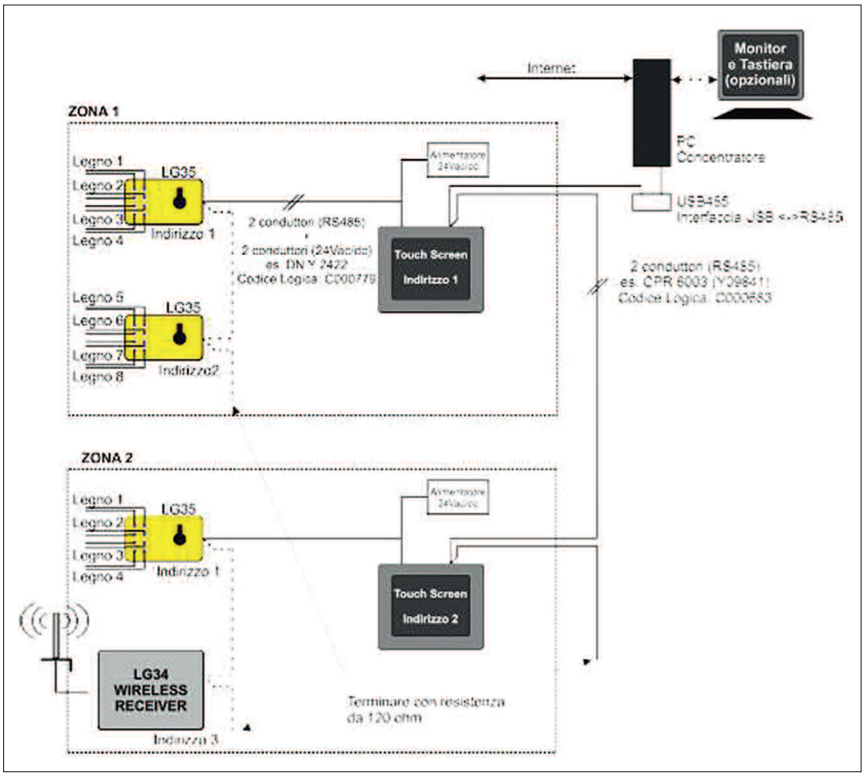
Il contenuto di umidità del legno influenza le proprietà fisico-meccaniche del materiale e la sua durabilità nel tempo: in assenza di una progettazione di dettaglio in linea con i principi tecnologici di settore, possono verificarsi le condizioni per l'avvio di agenti fungini che progressivamente tendono a demolire il tessuto legnoso. Tale condizione prende avvio quando l'umidità del materiale supera il 20%.
È bene precisare che esistono, a livello nazionale e internazionale, esperienze che dimostrano come le costruzioni in legno siano durabili nel tempo e sicure nei confronti di avvenimenti eccezionali, in primis il sisma. È necessario però che l'azienda costruttrice che si affaccia al mercato delle costruzioni in legno (mercato attualmente in crescita nonostante la stagnazione del comparto edile in generale) abbia un bagaglio minimo in termini di requisiti tecnico-organizzativi, che possa garantire le adeguate rispondenze in termini di legislazione vigente e che non disattenda le aspettative del committente (sempre più attento ai temi della sostenibilità ambientale e del risparmio energetico).
Inoltre, il panorama normativo nazionale consente oggi una progettazione di altissimo livello qualitativo, offrendo ai professionisti strumenti adeguati per arrivare a un razionale utilizzo del materiale.
Solo a titolo di completezza si riportano oggi le diverse specifiche tecniche, richiamate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14.01.08):

- Classi di rischio e metodologia decisionale: EN 335 (serie);
- 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;
- Classificazione dei preservanti: EN 351;
- Prestazioni dei preservanti per legno, classificazione ed etichettatura: EN 599.

Ci sembra altrettanto utile precisare 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) cui corrispondono condizioni ambientali tali da garantire valori di umidità del legno inferiori al 20%; idonee quindi a garantire funzionalità e durabilità del legno e della struttura (vedi immagini qui sopra).

A destra, schematizzazione del sistema di monitoraggio dell'umidità mediante sonde igrometriche.

In basso, a destra, dettaglio del prospetto nord-ovest.



Il sistema di monitoraggio S.A.L.E. - Sistema Affidabilità Legno Edilizia

Prima di tutto, cos'è il Protocollo S.A.L.E.? È uno schema di certificazione privato di proprietà di FederlegnoArredo e Conlegno che si propone di favorire la diffusione di costruzioni di qualità realizzate attraverso tecnologie costruttive in legno, condiviso con i maggiori istituti di credito diffusi a livello nazionale e le principali compagnie assicurative.

Il protocollo S.A.L.E. consente l'accesso a particolari mutui (fondiari o ipotecari) dedicati all'acquisto di case realizzate con tecniche di bioedilizia e permette di ottenere, tramite accordi tra FederlegnoArredo e le principali compagnie assicurative, scontistiche in relazione alle polizze scoppio incendio, grandi rischi, CAR e Postuma decennale. All'interno di questa attività di promozione, condotta in maniera sinergica da Conlegno e FederlegnoArredo, si inserisce il sistema di monitoraggio S.A.L.E. che nasce principalmente dall'esigenza di conoscere il comportamento delle strutture di legno nel tempo, al fine di incrementarne la durata, l'efficienza e il livello di sicurezza (a prescindere quindi dal sistema costruttivo considerato).

Il sistema permette di monitorare i punti più sensibili di un edificio a struttura portante in legno per quanto riguarda gli aspetti relativi all'umidità e, per edifici sviluppati oltre una certa altezza, anche gli eventuali spostamenti rispetto alla verticale.

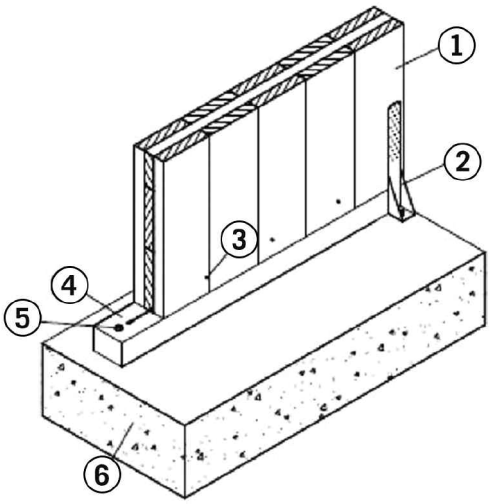
Il sistema è completamente automatizzato, tanto da consentire di effettuare misure in autonomia e di inviare report e messaggi di allarme qualora i parametri rilevati superino i livelli di soglia definiti. Le prime esperienze di monitoraggio sono state avviate già nel corso del 2016.

Nel presente articolo si prende in esame solo il monitoraggio dedicato al contenuto di umidità dei setti legnosi, tralasciando il funzionamento delle sonde inclinometriche dedicate a definire l'*interstorey drift* dei solai interpiano.

Attualmente lo stesso sistema di monitoraggio è fornito sul mercato in esclusiva da Conlegno.

Monitoraggio S.A.L.E.: obiettivo, punti di misura e soglie di allarme

Il controllo in esercizio di una determinata struttura (indipendentemente dalla tecnologia costruttiva) è sempre più uno strumento importante per una gestione ottimale e sicura del patrimonio edilizio; entro tale am-



A sinistra, attacco a terra – tecnologia X-lam:
1 pannello di parete in X-lam
2 angolare per forze di trazione
3 viti di ancoraggio incrociate
4 soglia in legno
5 tassello di ancoraggio della soglia
6 fondazione

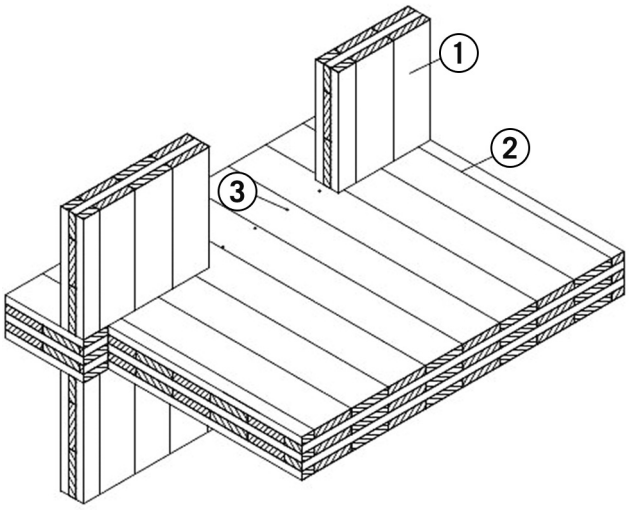
Descrizione:
Appoggio della parete in fondazione tramite soglia in legno
Collegamenti resistenti a trazione mediante hold-down
Collegamenti resistenti a taglio tra parete e soglia mediante viti incrociate
Collegamenti resistenti a taglio tra soglia e fondazione mediante tasselli

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. Qualora sia possibile, si consiglia di porre più sonde al piede delle strutture in funzione dell'esposizione della parete.

A destra, balcone – tecnologia X-lam:
1 pannello di parete in X-lam
2 pannello di solaio in X-lam3 viti di ancoraggio

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

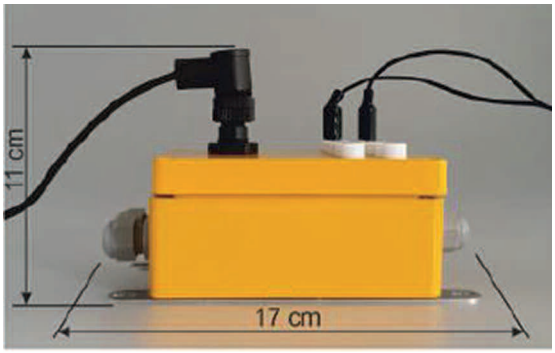
La sonda igrometrica deve essere posta in sulla porzione a sbalzo, il più vicino possibile al setto verticale. Nel caso in cui il balcone poggi su travetti, la sonda andrà posta preferibilmente come indicato per la tecnologia a telaio. La presenza di ringhiere (infisse nella porzione a sbalzo) possono 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

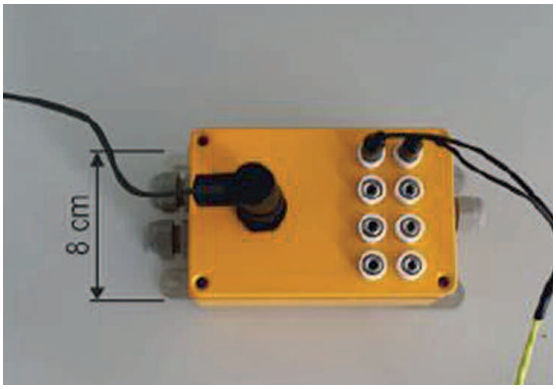


bito, un sistema di monitoraggio – ben concepito e correttamente realizzato – può realmente portare un valore aggiunto nella razionalizzazione della manutenzione dell'opera e a un prolungamento della vita utile della costruzione.
Risulta importante quindi conoscere nel dettaglio la soluzione costruttiva adottata al fine di un corretto dimensionamento del sistema stesso di controllo: infatti, definire punti e numero delle sonde è un processo fondamentale per avere successivamente dei risultati che abbiano valenza, sia per il costruttore sia per il committente, in modo da avvertire quest'ultimo nel caso in cui si verifichino situazioni anomale.
Inoltre, per completezza di informazioni, si riporta che il sistema di monitoraggio deve essere dimensionato tenendo in considerazione le 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.

Inoltre rivestono importanza anche:
- esposizione del fabbricato;
- venti dominanti ed interazione con eventi meteorici;
- superfici piane che possono determinare fenomeni di accumulo di acqua.

È da sottolineare come il sistema di monitoraggio non si debba sostituire a scelte progettuali mirate a preservare la durabilità dell'edificio, né si sostituisce a indagini di carattere diagnostico per la verifica dell'efficienza strutturale di una determinata opera di ingegneria.
A titolo di completezza, si riportano possibili esempi dedicati relativi all'attacco a terra e al balcone, entrambi con tecnologia X-lam (vedi disegni della pagina accanto).





A sinistra, vista frontale e zenitale della centralina di misura con ingombri e cablaggio delle sonde e cavo in teflon.

Qui accanto, esempio di sonda WiFi e, più sotto, pannello touch screen per la lettura dei valori di umidità.

Venendo poi al dettaglio degli "alert" del sistema di monitoraggio al permanere delle condizioni favorevoli allo sviluppo di funghi nel legno sono definite le seguenti soglie di rischio:

1 U (%legno) ≥ 20% per un tempo inferiore a 1 giorno
2 U (%legno) ≥ 20% per un tempo compreso tra 1 e 5 giorni
3 U (%legno) ≥ 20% per un tempo compreso tra 5 e 10 giorni
4 U (%legno) ≥ 20% per un tempo compreso tra 10 e 15 giorni.

In ragione della soglia raggiunta dovranno seguire adeguati interventi atti a determinare il fattore che ha provocato l'aumento di umidità del legno e ad azioni finalizzate a ridurla. Sarà inoltre necessario intervenire per eliminare la causa che ha determinato l'innalzamento dell'umidità per garantire che lo stesso problema non si verifichi nel tempo.

Il monitoraggio dell'umidità in questo materiale si realizza mediante l'impiego di sonde igrometriche di tipo resistivo. Tali sensori sono ormai abbondantemente utilizzati nell'industria del settore e basano il loro funzio-

Credits: CASA S.p.A.

A sinistra, il dettaglio di una delle facciate dell'edificio al grezzo.

Credits: CASA S.p.A.

La "punta" dell'edificio E.R.P. in linea che caratterizza il fabbricato e segna l'ingresso all'area a verde e alla piazza pedonale sul fronte retrostante.

namento sulla misura della resistenza elettrica offerta dal legno. Tale misura è strettamente correlata al contenuto di umidità del materiale, alla specie legnosa e alla temperatura dell'aria.

Dispositivo di acquisizione e Software di gestione

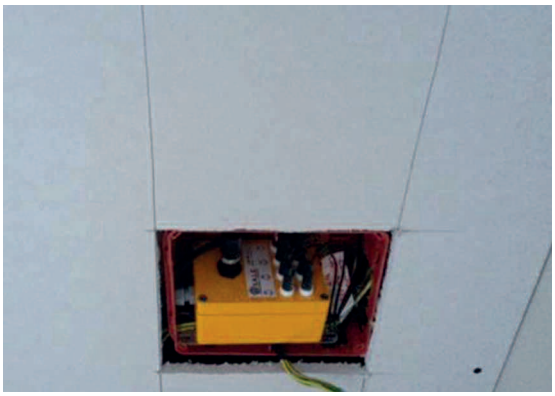
Relativamente al dispositivo di acquisizione, si accenna che lo stesso deve essere dimensionato e concepito sia per l'acquisizione del segnale da parte delle sonde inclinometriche (non trattate nel presente articolo) sia per gli igrometri impiegati per il monitoraggio. Per quanto riguarda il software, questo permette la registrazione, 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 definite. Il software a corredo del sistema di monitoraggio permette di controllare da remoto tutti i parametri definiti in fase di pianificazione e tutte le misure effettuate; esso è inoltre in grado di elaborare i dati acquisiti e di inviare messaggi di allarme sulla base dei livelli di sicurezza definiti. In altre parole, qualora una sonda igrometrica registri un valore di umidità del legno superiore alla soglia definita, il sistema è in grado di inviare immediatamente un messaggio di allerta a una o più persone opportunamente identificate (proprietario dell'edificio, incaricato della manutenzione, ecc…).
Nella pagina precedente, in alto, sono riportate le figure esplicative dei vari componenti del sistema di monitoraggio.

Monitoraggio S.A.L.E.: alloggi E.R.P. nell'area ex-Longinotti – 6 piani in X-lam

In un processo di riqualificazione urbana, CASA S.p.A. ha promosso un notevole lavoro al fine di rendere l'area un punto di riferimento nazionale e internazionale in relazione alle soluzioni tecnologiche impiegate nella definizione degli alloggi di edilizia residenziale pubblica. Nell'area sussiste un edificio di 6 piani realizzato internamente tramite la tecnologia X-lam (comprensivi anche dei vani ascensori) di notevole complessità architettonica e ingegneristica.
A completare la realizzazione in termini di innovazione, il fabbricato di Viale Giannotti a Firenze (39 alloggi E.R.P. e 6 a canone calmierato) è uno dei primi esempi di applicazione del sistema di monitoraggio S.A.L.E.
A seguito di un confronto con gli strutturisti incaricati, con l'azienda realizzatrice e con l'impresa incaricata alla posa degli impianti sono stati individuati i seguenti punti sensibili:

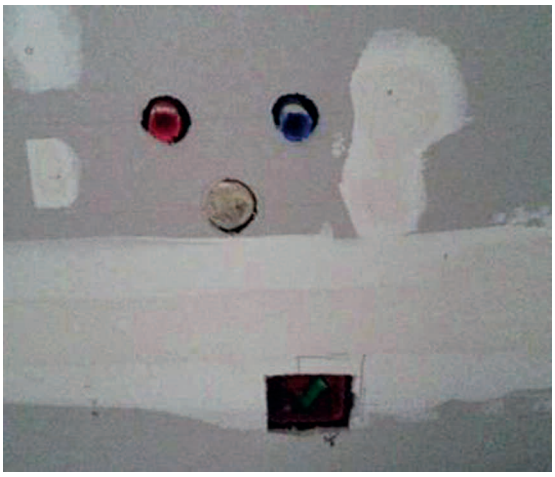
- in prossimità dell'attacco a terra
- in corrispondenza di attacchi impiantistici importanti (impianto idrico) all'interno dei bagni e locali umidi
- in copertura (piana)

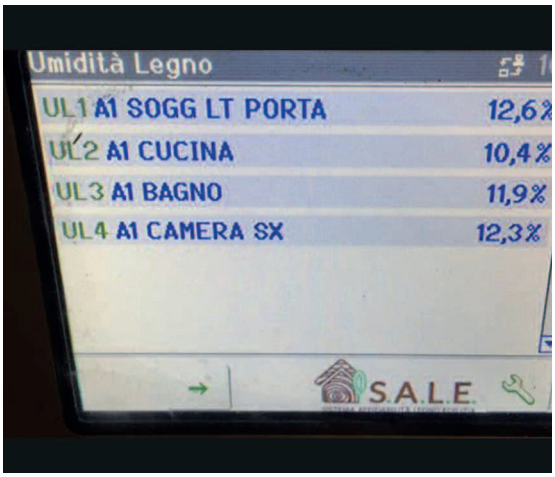
Le sonde utilizzate per il monitoraggio dell'umidità del legno in copertura comunicano via onde radio, svincolando il loro funzionamento dalle difficoltà di posizionamento di cavi.
I dati rilevati dalle sonde igrometriche sono visualizzabili mediante 4 touch screen e successivamente elaborati da apposito software su computer (concentratore) in grado di ricevere sia dati via cavo sia dati comunicati mediante tecnologia WiFi.
I dati registrati dal concentratore vengono inviati via email ai tecnici di CASA S.p.A. con tempistiche definite (settimanalmente nel caso in questione) in un apposito report in cui è possibile verificare l'andamento dell'umidità all'interno della struttura stessa.
Qualora si verificassero anomalie nel contenuto dell'umidità dei setti legnosi oggetto del monitoraggio, il software invia in tempo reale specifici Alert – attraverso email e sms – a una mailing list definita, indicando posizione, durata dell'anomalia e sonda coinvolta nella misura.



A sinistra, posa delle sonde in prossimità dell'attacco a terra.

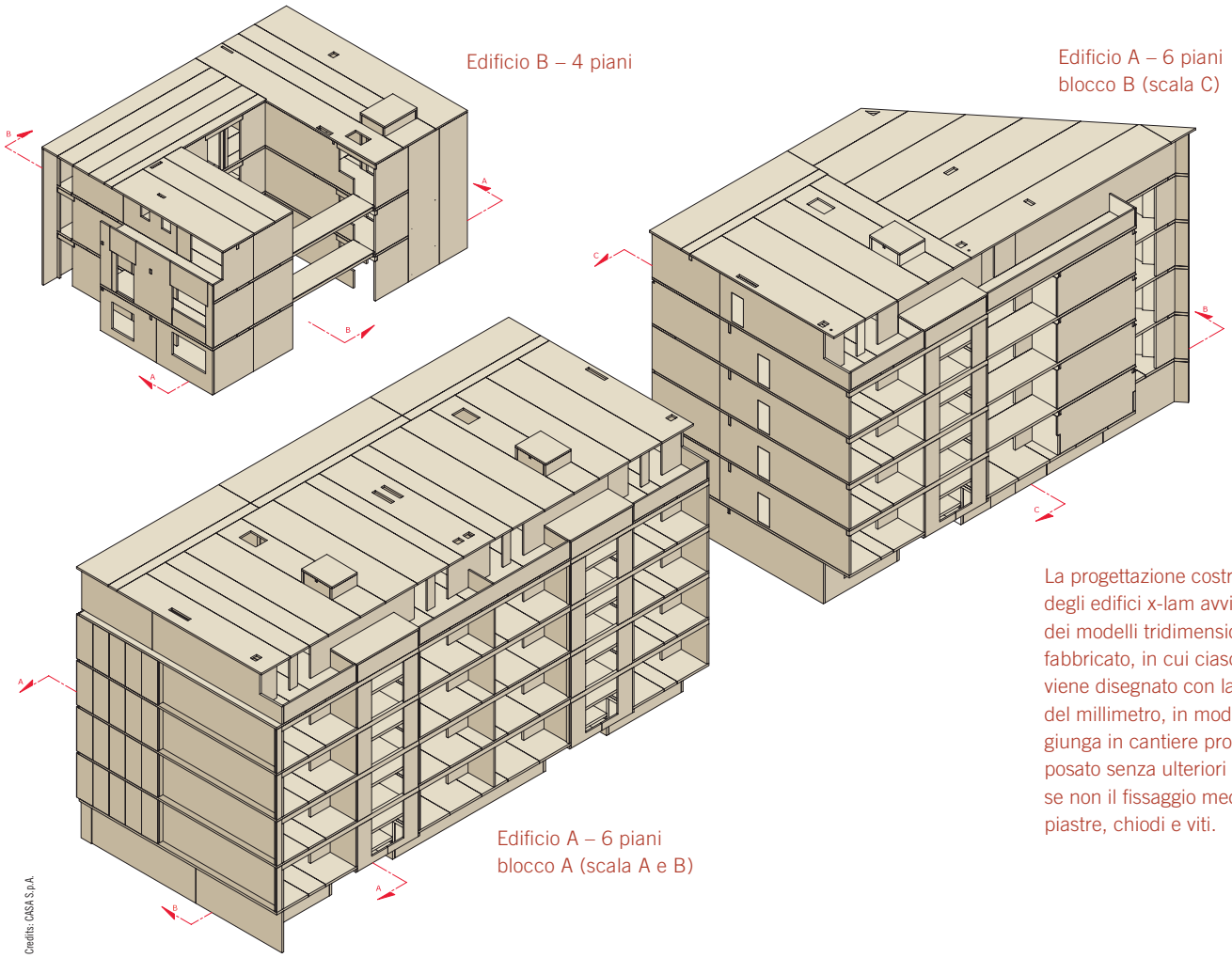
Qui accanto, installazione della centralina in intercapedine e cablaggio delle sonde stesse.





A sinistra, installazione delle sonde in corrispondenza dei nodi impiantistici (impianto idrico – bagno).

Qui accanto, visualizzazione dell'umidità su uno dei touch screen posati all'interno della struttura.



Edificio B – 4 piani

Edificio A – 6 piani
blocco B (scala C)

Edificio A – 6 piani
blocco A (scala A e B)

La progettazione costruttiva degli edifici x-lam avviene realizzando dei modelli tridimensionali del fabbricato, in cui ciascun pannello viene disegnato con la precisione del millimetro, in modo che esso giunga in cantiere pronto per essere posato senza ulteriori lavorazioni se non il fissaggio mediante piastre, chiodi e viti.

Credits: CASA S.p.A.