

## STRUTTURE LIGNEE – VALUTAZIONI DI SICUREZZA

### Considerazioni sulla valutazione della sicurezza di una struttura lignea tramite una prova di carico

Vincenzo Giannetto – Ingegnere **CERTing** Legale Rappresentante IndaginiStrutturalisrl  
Gabriele Bonamini – Libero Professionista Esperto Tecnologo del legno strutturale

Con sempre maggior frequenza ci si trova di fronte a richieste di dover definire il sovraccarico permanente e accidentale che compete a strutture in legno di vario tipo, senza che venga posta l'attenzione su vari fattori di diverso genere quali ad esempio il tipo di legno, la sua età, il suo stato di conservazione, la presenza di difetti tipici, etc. Infatti, se nel caso di strutture costituite da altro tipo di materiale (cemento armato, acciaio, muratura) è sufficiente attraverso valutazioni teoriche, geometriche e statiche, poterne definire la capacità portante che, successivamente, potrà essere verificata con opportune prove di carico ciò non è sicuramente possibile per tutte le strutture lignee, ma soltanto per alcune di esse di cui non sarà possibile una classificazione generale a priori. Se viene presa in considerazione, ad esempio, una struttura nuova in legno lamellare, la fattibilità di una prova di carico è una scelta lecita e in molti casi perseguita, mentre eseguire la medesima sperimentazione su una struttura della stessa tipologia, ma di una certa età e in condizioni ambientali di esercizio severe, negli anni diventa una pratica potenzialmente rischiosa e da valutare con attenzione. Lo stesso dicasi in casi di legno massiccio, ove le eccezioni saranno molteplici in quanto, oltre all'età, entreranno in gioco anche e soprattutto lo stato di conservazione del legno, i difetti intrinseci di ogni suo elemento, le condizioni ambientali in cui ha trascorso il proprio ciclo di vita, etc. Proprio in casi di questo tipo entra in gioco in maniera determinante e fondamentale il ruolo del tecnologo, un esperto del legno che, attraverso un'analisi visuale, qualche particolare strumento e determinati accorgimenti, riesce a sintetizzare lo stato complessivo della struttura e valutare la fattibilità o meno di una prova di carico senza pericoli per la struttura.



Prova di carico su copertura in legno lamellare

## PREMESSA

Una necessaria premessa alle considerazioni di seguito illustrate è che il legno strutturale è, notoriamente, un prodotto che evidenzia una modalità di rottura tipicamente fragile, cioè quando l'elemento è ancora pienamente nel campo elastico lineare. Ciò si spiega facilmente ricordando che nel legno strutturale sono inevitabilmente presenti - e ammessi dalle norme in una certa misura attraverso la classificazione secondo la resistenza meccanica - difetti originari quali nodi, fibratura inclinata e altri ancora. Nel legno in opera, inoltre, ai difetti originari si può aggiungere il degrado dovuto alle condizioni di servizio. Di tutto questo si tiene dovutamente conto nell'Eurocodice 5 e, conseguentemente, nelle NTC.

Di tale premessa occorre ricordarsi, nei casi in cui si scelga di effettuare una valutazione della sicurezza statica di una struttura lignea in opera attraverso due distinti metodi di indagine (nel seguito dati per noti e quindi schematizzati in forma estremamente sintetica e semplificata):

- *la prova di carico*, che può mettere in evidenza le problematiche di tipo statico generale di una struttura, ma che non è necessariamente in grado di identificare problemi di qualità originaria o di degrado del materiale, tipicamente localizzati e puntuali.

- *l'ispezione, diagnosi e classificazione* del legno strutturale, che può mettere in evidenza l'eccessiva difettosità originale degli elementi lignei portanti (intesi quindi come componenti strutturali e non come "legno" genericamente inteso), nonché l'eventuale degrado dovuto alla permanenza in esercizio (attacchi biologici, cedimenti strutturali, dissesto delle unioni), ma che non è necessariamente in grado di identificare i problemi generali collegati alla staticità della struttura, cioè ai carichi imposti, alle soluzioni costruttive adottate nel progetto, alle modalità di esecuzione da parte dell'impresa costruttrice, ecc.

I due diversi tipi di indagine esaminano quindi la stessa struttura sotto angolazioni profondamente diverse e il risultato globale può essere considerato "favorevole" per la struttura solo allorché entrambi i metodi non evidenzino criticità. Si perviene così alla seguente casistica sommaria:

*Tabella 1 - Casistica degli esiti*

Caso	Esito Prova di carico	Esito ispezione + diagnosi	Risultato globale
a)	Favorevole	Favorevole	Nessuna criticità rilevata
b)	Favorevole	Sfavorevole	Almeno alcuni elementi lignei mostrano eccessiva difettosità, degradamento e/o rotture, per cui ad essi non possono essere assegnati affidabili valori di resistenza e rigidità. La struttura potrebbe cedere nel medio e lungo periodo – anche a carico di esercizio e deformazione globale costanti – per effetti legati al comportamento igromeccanico del legno e all'accumulazione delle tensioni nelle parti eccessivamente difettose, ammalorate e/o parzialmente rotte
c)	Sfavorevole	Favorevole	Il legno in opera non denota criticità, ma la struttura nel suo complesso sì. Evidentemente sussistono problemi di natura costruttiva, con una vasta casistica che può andare dal semplice sottodimensionamento degli elementi portanti, fino all'errata realizzazione delle unioni
d)	Sfavorevole	Sfavorevole	La struttura presenta criticità conclamate, che coinvolgono sia gli elementi lignei, sia la struttura.

È evidente che soltanto il caso a) riportato nella Tabella 1 può essere ritenuto tranquillizzante.

Nei restanti casi b), c) e d), occorre intervenire sui fattori indicati come critici, cioè sui materiali, sulla struttura, oppure su entrambi.

Il punto essenziale è il seguente: la prova di carico non intende portare la struttura al limite di rottura e neppure oltre la linearità. Di norma, quindi, si stimerà un ragionevole limite di esercizio e conseguentemente si imposterà il carico massimo di prova. Se le deformazioni rilevate sotto carico diventano eccessive rispetto a quelle attese, la prova viene interrotta. Se, invece, le deformazioni rimangono entro i limiti attesi, si interrompe la prova solo a carico massimo di prova raggiunto e mantenuto per un tempo ritenuto congruo. In quest'ultimo caso la prova di carico si dice avere dato risultato "favorevole", con deformazioni finali entro i limiti e con una curva carico-deformazione ragionevolmente rettilinea e stabile a carico massimo raggiunto. Tuttavia, rimane un aspetto che questa prova non è minimamente in grado di cogliere: quanto prossima al carico ultimo di rottura (sempre fragile nel legno strutturale, come si è detto in premessa) è arrivata la sollecitazione degli elementi lignei nel corso della prova? Qui interviene il valore aggiunto della classificazione in opera: se il tecnologo del legno, nel corso della sua ispezione, rileva che alcuni elementi lignei sono eccessivamente difettosi o hanno zone significativamente degradate, segnalerà che il loro comportamento atteso sotto carico, seppur lineare nel suo complesso, potrà portare localmente le tensioni molto al di là dei valori di sicurezza (con conseguenti rischi di cedimento immediato), oppure ben oltre il limite di scorrimento del legno (con problemi legati alla durata del carico e a cedimenti differiti nel tempo). In altre parole: non ovunque, ma specificamente nella zona del difetto o del degrado, un solo chilogrammo di prova in più, oppure un solo minuto in più di durata del carico massimo di prova, potrebbero portare a un cedimento improvviso, così come tante volte è stato verificato in laboratorio e in opera.

**Per concludere questa prima parte del presente contributo, si ritiene che la procedura più adeguata, quando si desideri intercettare nel modo più efficace tutte le eventuali criticità di una struttura lignea in opera, sia quella della preliminare ispezione e diagnosi da parte del Tecnologo del legno strutturale, le cui segnalazioni metteranno in grado lo Strutturista di impostare una prova di carico esente da rischi e in grado di fornire indicazioni tecniche fruibili ai fini della progettazione degli interventi di restauro.**

#### **PROVE DI CARICO CON SERBATOI PENSILI**

Una tipica prova di carico potrà essere quella rappresentata sulla trave in legno lamellare riportata in foto, in cui il sovraccarico equivalente applicato è costituito da serbatoi pensili riempiti d'acqua secondo passaggi di carico successivi e progressivi, con step, solitamente 5, di pari entità sia nella fase di carico che in quella di scarico.

Il carico equivalente sarà costituito da carichi concentrati in un certo numero punti tali da generare sulla struttura in esame lo stesso momento flettente in mezzeria prodotto dal carico uniformemente distribuito secondo cui la struttura è stata progettata.

Le misure di deformazione, di abbassamento e di rotazione verranno rilevate attraverso stazioni di misura costituite da sensori elettronici che garantiscano una precisione del centesimo di millimetro e di grado centesimale e del micron nel caso delle deformazioni.

Il carico viene applicato con sequenze di step di pari entità fino al raggiungimento del carico massimo di progetto. I tempi di permanenza ad ogni carico saranno quelli necessari alla completa stabilizzazione delle misure che vengono rilevate in continua e memorizzate ad ogni step di carico. In fase di carico ci si aspetta che a pari incrementi di carico si registrino misure quanto più possibili proporzionali fra loro, che le misure in corrispondenza del carico massimo siano inferiori di quelle calcolate teoricamente e che, in corrispondenza di un carico massimo costante le misure si stabilizzino nel minor tempo possibile.

La fase di scarico avverrà secondo step uguali e decrescenti rispetto a quelli applicati in fase di carico, facendo attenzione che, per congruenza, le misure registrate ad ogni step di scarico siano sempre più alte di quelle registrate nel corrispondente step in fase di carico, ma che allo stesso tempo questa differenza sia quanto più possibile bassa. Questo divario fra carico e scarico darà vita a un'area d'isteresi che, quanto più piccola sarà, tanto più sarà elevato l'indice di bontà della prova di carico.



*Prova di carico con serbatoi pensili su copertura in legno lamellare*

Un altro parametro estremamente significativo di una prova di carico sarà l'entità del valore dell'abbassamento residuo che ogni stazione misura in corrispondenza del carico zero e che dovrà essere il più basso possibile. Il rapporto fra gli abbassamenti rilevati a carico massimo e quelli in corrispondenza del carico nullo, depurati dalle misure d'abbassamento rilevate in corrispondenza degli appoggi, costituisce la permanenza percentuale oppure la percentuale di freccia residua che ci si aspetta che sia più bassa possibile a fronte di una prova di carico che si conclude con esito positivo. Ovviamente, considerando il comportamento viscoelastico del legno, occorrerà valutare con attenzione la velocità di applicazione degli step di carico e scarico e la misurazione delle conseguenti deformazioni anche in funzione dei tempi in cui la prova è effettivamente svolta, così da isolare le componenti puramente elastiche delle deformazioni da quelle riconducibili a fenomeni di *fluage* e assimilati (comportamento viscoelastico e meccano-sorbitivo - vedasi in proposito anche le considerazioni al termine del presente testo-).

#### **PROVE DI CARICO CON CILINDRI OLEODINAMICI**

L'obiettivo principale di una prova di carico su solai è quello di confrontare il valore delle frecce teoriche con quelle sperimentali, al fine di valutare l'aspetto deformativo previsto dalle norme.

In ogni caso è necessaria un'interpretazione critica dei risultati ottenuti da tali prove sperimentali poiché è possibile incorrere in errori d'interpretazione, soprattutto a seguito dell'applicazione di metodologie che richiedono variabili e condizioni al contorno non sempre di facile definizione.

Sulle strutture lignee tali problematiche sono ancor più enfatizzate in quanto alle normali complessità d'interpretazione di un'indagine sperimentale si uniscono le incertezze intrinseche al materiale costituente.

L'intensità del carico da applicare è definita, in funzione delle previsioni progettuali e della destinazione d'uso della struttura, così da produrre le massime sollecitazioni.

Nel caso di una struttura allo stato grezzo, il carico da applicare sul solaio mediante la strumentazione deve tener conto di tutti i carichi mancanti, ovvero:

- Carichi accidentali
- Carichi permanenti



Se la prova viene eseguita sul solaio di una struttura già esistente, il carico da applicare durante la prova comprende il solo carico accidentale d'esercizio, congruente con sua destinazione d'uso. In entrambi i casi però nulla vieta, qualora sia possibile, di poter applicare carichi di maggiore entità, eseguendo così verifiche con un maggiore livello di sicurezza.



*Prova di carico su trave in legno lamellare*



*Prova di carico su trave in legno lamellare*

### Modalità di applicazione del carico

Le operazioni più importanti e delicate che occorre eseguire a monte di una prova di carico sono:

1. la verifica di fattibilità delle tipologie di prova, considerando quella a contrasto generalmente più semplice e meno invasiva della prova a trazione;
2. la trasformazione dei carichi distribuiti in carichi concentrati equivalenti, normalmente eseguita nell'ipotesi di uguaglianza del momento massimo in mezzera (soluzione preferita e maggiormente diffusa) oppure nell'ipotesi di uguaglianza della freccia massima.

Nel caso di strutture in legno, la variabile maggiormente significativa è rappresentata dalle condizioni generali degli elementi da analizzare e dal loro stato di conservazione che possano garantire una fattibilità dell'indagine senza che subentrino situazioni di pericolosità dovute alla prova stessa.

### Prove di carico con carichi distribuiti

Questa tipologia di prova avviene mediante l'uso di serbatoi di neoprene che vengono posizionati all'estradosso del solaio e riempiti d'acqua in modo graduale, fino ad un livello tale da produrre il carico previsto dalla prova.



*Applicazione del carico distribuito su solaio in legno*



*Misure degli spostamenti su trave primaria e secondaria in legno massiccio*



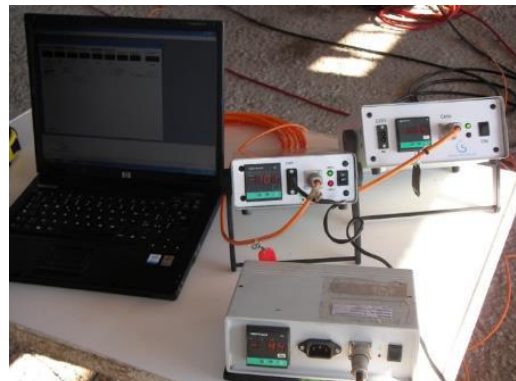
*Misure degli spostamenti su trave primaria e secondaria in legno massiccio*

### **Prove di carico con carichi concentrati**

Le prove con carichi concentrati, quando risultano tecnicamente e logisticamente realizzabili, garantiscono una maggiore pulizia d'indagine legata soprattutto alla capacità di gestione dei livelli di carico, ad una loro facile ripetizione e all'applicazione di incrementi di carico tra i vari cicli. Tutto ciò rende questa modalità di prova preferibile rispetto alle prove con carico distribuito, consente lo svolgimento della prova in tempi contenuti ed anche di eseguire più cicli di carico e scarico.



*Cella di carico per la misura della forza applicata*



*Centraline digitali interfacciate a PC per l'acquisizione delle misure*





*Applicazione del carico su solaio di calpestio in legno massiccio tramite cilindro oleodinamico*



*Ubicazione dei sensori all'intradosso del solaio in legno massiccio sottoposto a prova di carico.*

Il carico viene applicato ad intervalli regolari, così da poter avere visione in tempo reale della deformazione del solaio fino al raggiungimento del valore massimo di sollecitazione. Durante ogni step di carico è inoltre necessario attendere un certo intervallo di tempo, così da permettere alla struttura di sviluppare completamente le deformazioni prodotte. Nel corso dell'esecuzione dei diversi cicli di carico, è possibile anche prevedere incrementi di carico differenti tra un ciclo e l'altro. Uno dei motivi di ciò è dovuto alla necessità di avere un confronto tra una prova di più lunga ed una prova di più breve durata, al fine di verificare gli effetti di assestamento del solaio e di influenza delle variazioni termiche.

Poiché l'applicazione del carico concentrato deve produrre le medesime sollecitazioni che verrebbero generate dai carichi distribuiti, è corretto parlare di *carico concentrato equivalente*.

In alcune prove è possibile anche l'applicazione di più forze concentrate.

Vengono brevemente illustrate le principali fasi di svolgimento della prova e l'ubicazione dei sensori.

### Valutazione del carico concentrato

Il criterio adottato per la determinazione del carico concentrato equivalente è dato dall'uguaglianza del momento flettente in mezzera prodotto dall'applicazione del carico concentrato con quello del carico distribuito.

Per definizione, il carico equivalente ricercato è descritto come il carico da dover applicare considerando una striscia di solaio di larghezza un metro, in corrispondenza della mezzera e in direzione ortogonale all'orditura, capace di produrre lo stesso valore di momento massimo che verrebbe prodotto dal carico uniformemente distribuito.

Si riporta di seguito la formula di calcolo di questa forza ed il significato dei relativi termini.

$$F_{eq} = q \cdot L \cdot C_v \cdot C_t$$

Dove:

- $F_{eq}$  [N]: carico concentrato equivalente
- $q$   $\left[\frac{N}{m^2}\right]$ : carico distribuito di progetto
- $L$  [m]: luce del solaio
- $C_v$  [adimensionale]: coefficiente di vincolo
- $C_t$  [m]: coefficiente di collaborazione trasversale

Assumendo la striscia di solaio come equivalente a un elemento trave, dalla teoria risulta noto il valore del coefficiente di vincolo  $C_v$  nei due casi ideali di vincolo agli estremi:

- per il caso di semplice appoggio,  $C_v = 0,50$
- per il caso di incastro perfetto,  $C_v = 0,33$ .



*Prova di carico su trave in legno lamellare*



*Prova di carico su trave in legno lamellare*

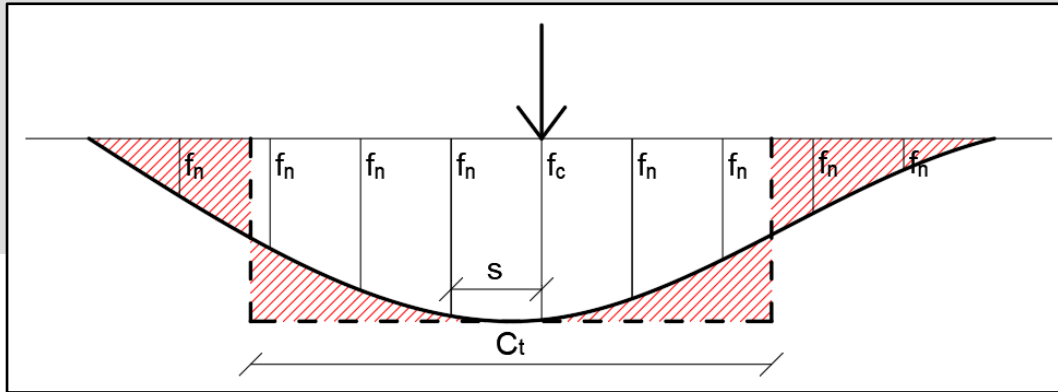
Spesso, le effettive condizioni di vincolo di una struttura sono intermedie tra questi due estremi ideali. Per tale motivo, in letteratura sono frequenti le tabelle riepilogative dei valori del coefficiente  $C_v$  e dei momenti flettenti per queste condizioni intermedie, spesso genericamente definite di "semincastro". Un metodo sperimentale adottato per determinare valori del coefficiente di vincolo più aderenti alle reali condizioni del solaio oggetto della prova di carico prevede la determinazione del parametro sperimentale  $R$ , definito come segue.

$$R = \frac{\text{freccia a } \frac{1}{4} \text{ della luce}}{\text{freccia in mezzera}} \quad (\text{con i valori di freccia depurati dagli spostamenti agli appoggi})$$

andando poi a individuare sulla tabella riepilogativa il corrispondente valore di  $C_v$ , ottenuto sulla base di curve di regressione che meglio approssimano i dati sperimentali ottenuti per vari carichi e per varie condizioni di vincolo.



Per la definizione sperimentale dell'altro coefficiente  $C_t$  (coefficiente di collaborazione trasversale del solaio), si consideri un solaio infinitamente esteso in direzione trasversale alla propria orditura. A seguito dell'applicazione di un carico concentrato, si ipotizzi che la deformazione prodotta segua l'andamento riportato in figura.



La fascia di solaio collaborante può essere determinata imponendo l'uguaglianza tra l'area della deformata reale e l'area di un rettangolo avente l'altezza pari alla deformata in mezzeria  $f_c$  e larghezza pari a  $C_t$ .

Da questa considerazione si ottiene:

$$(f_c + \sum f_n) \cdot s = C_t \cdot f_c$$

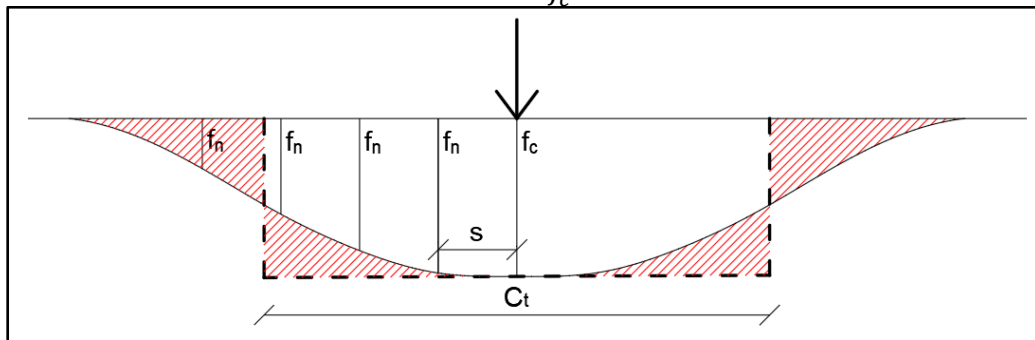
in cui  $f_n$  rappresentano le frecce lette in corrispondenza dei restanti sensori installati in direzione trasversale al solaio, ad una distanza media  $s$ .

Pertanto, è possibile così ricavare il coefficiente  $C_t$ :

$$C_t = \frac{(f_c + \sum f_n) \cdot s}{f_c}$$

Nel caso di deformata simmetrica, è possibile considerare i soli punti di misura su di un lato del solaio, in modo da adottare la seguente relazione:

$$C_t = \frac{(f_c + 2 \cdot \sum f_n) \cdot s}{f_c}$$



In definitiva, mediante le letture di deformazione in situ, è possibile ottenere il valore del rapporto  $R$  e di conseguenza il valore del coefficiente di vincolo  $C_v$  e del coefficiente di collaborazione trasversale del solaio  $C_t$ .

Questi valori, determinati sperimentalmente, sono in genere ritenuti più aderenti alle situazioni reali rispetto a quanto lo possano essere i coefficienti ricavati per via teorica, poiché permettono di valutare in maniera più verosimile il comportamento del solaio, di quanto non sia possibile con le formulazioni analitiche, nonostante le ipotesi e le approssimazioni comunque insite anche nelle relazioni sperimentali. Nel caso specifico delle strutture di legno, tuttavia, appare opportuno tenere in considerazione due fatti:

- la configurazione più frequente per i solai di legno è quella che si avvicina assai all'appoggio semplice, cui pertanto corrisponde un valore del coefficiente di vincolo  $C_v$  molto vicino a 0,50
- la misurazione del parametro sperimentale  $R$  risente del peculiare comportamento del legno strutturale; pertanto, le regressioni utilizzate per la compilazione delle tabelle riepilogative presenti in letteratura – se non ottenute da prove condotte su questo materiale – potrebbero introdurre incertezze tali da rendere poco significativa la correzione introdotta nel valore di  $C_v$  rispetto alla stima teorica.

## Strumentazione

La strumentazione necessaria per l'applicazione del carico concentrato e lo svolgimento della prova è costituita da:

- *Cilindri oleodinamici*: generano il carico da applicare alla struttura.
- *Centraline oleodinamiche*: alimentano i cilindri oleodinamici ad essa collegata. Il circuito idraulico è connesso ad una pompa oleodinamica, la quale, mediante la pressione esercitata, permette di applicare il carico alla struttura per mezzo del cilindro oleodinamico. Tale pressione di mandata della pompa viene misurata da un manometro digitale;
- *Basi di ripartizione*: installate agli estremi del cilindro oleodinamico. Servono per la ripartizione del carico sul solaio. Nel caso di un solaio in laterocemento, questa viene disposta ortogonalmente alla sua orditura, così da ripartire il carico su più travetti;
- *Celle di carico*: permettono di misurare la forza applicata dal cilindro oleodinamico. Si tratta di un elemento in acciaio di forma toroidale a sezione nota, su cui sono installati degli estensimetri elettrici. Mediante la misura della tensione grazie agli estensimetri è possibile determinare il valore della forza applicata per mezzo del cilindro oleodinamico;
- *Trasduttori elettronici*: sono installati su aste telescopiche e posizionate in punti significativi all'intradosso del solaio oggetto della prova, consentendo di ottenere i valori di deformazione prodotti dal carico;
- *Unità di condizionamento del segnale*: sono costituite dalla centralina di conversione A/D (analogico – digitale) e da un modulo per il collegamento dei sensori. La centralina A/D, in funzione della frequenza di campionamento impostata, permette di convertire i segnali analogici forniti dai trasduttori in formato digitale, consentendone la loro memorizzazione per le successive analisi.

## Modalità di applicazione del carico

Definita la strumentazione, è necessario descrivere anche le modalità di applicazione del carico concentrato equivalente, il quale può avvenire secondo uno dei seguenti metodi.

- *Metodo "a contrasto" (oppure "a spinta")*
- *Metodo "a trazione"*

Il **metodo a contrasto** prevede l'applicazione del carico all'estradosso del solaio, sfruttando l'azione di contrasto esercitata dalla struttura superiore (solaio o trave) soggetto al peso proprio. È pertanto fondamentale che tale elemento superiore possa resistere al carico applicato.

Invece il **metodo a trazione** si adotta nel caso in cui il metodo a contrasto non è applicabile (ad esempio per l'assenza di un elemento di contrasto come per i solai di copertura). In questo caso la strumentazione viene ancorata all'intradosso del solaio oggetto dell'analisi, generando così una trazione verso il basso grazie all'accorciamento del martinetto. Con questo metodo la forza può essere considerata con maggiore accuratezza ad un carico concentrato poiché nel caso del metodo a contrasto è pur sempre presente una base di ripartizione caratterizzata da una certa area di carico. Il valore del carico concentrato da applicare in entrambi i metodi viene determinato secondo le medesime considerazioni.



*Applicazione del carico su trave in legno lamellare di una copertura inclinata*



*Applicazione del carico e misura degli spostamenti su trave in legno lamellare di una copertura inclinata*



*Applicazione del carico e misura degli spostamenti su trave in legno lamellare di una copertura inclinata*



*Applicazione del carico su trave in legno lamellare di una copertura inclinata*

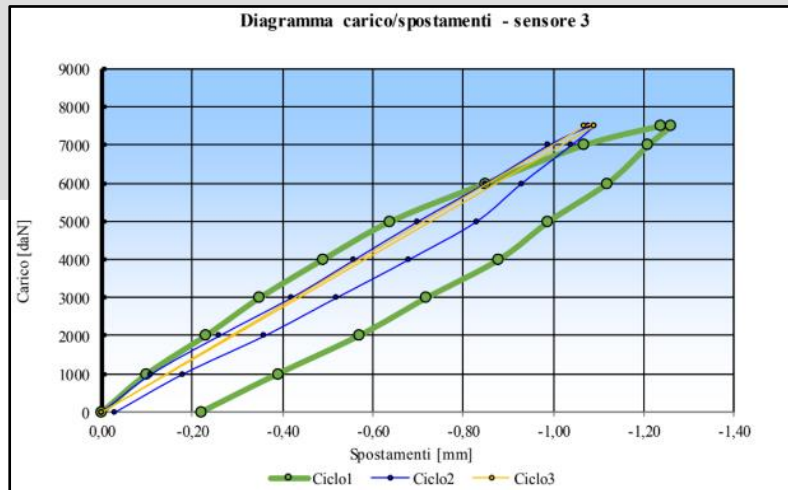
## Interpretazione dei risultati di una prova di carico

Prima dell'inizio della prova, tutti i trasduttori posizionati sulle aste telescopiche sono azzerati in modo che vengano registrate le sole deformazioni causate dall'applicazione del carico di prova. Grazie all'acquisizione dei dati di misura, è possibile analizzare istantaneamente l'evolversi della deformazione e rielaborare anche in fasi successive i suddetti risultati.

Se il comportamento del solaio fosse perfettamente elastico, la curva carico-deformazione sarebbe rappresentata da un'unica retta. Nella pratica, le prove di carico evidenziano praticamente sempre una rampa di carico più alta rispetto alla rampa di scarico. Inoltre, in funzione della struttura oggetto di prova, le due rampe possono presentare andamento rettilineo o curvo.



Una parte dell'area compresa fra le due rampe può essere imputata (e quindi dedotta dal totale) agli eventuali spostamenti dei riferimenti del sistema di misura. Un'altra componente può essere invece espressa come isteresi, laddove l'applicazione del carico di prova produca deformazioni tali da determinare il passaggio da un comportamento elastico ad un comportamento plastico, generando così deformazioni residue permanenti.



*Area di isteresi di tre cicli di carico e scarico consecutivi*

In quest'ultimo caso, l'area racchiusa dalla curva di isteresi rappresenta il valore di energia che viene dissipata durante l'esecuzione della prova.

Nel caso delle strutture di legno, tuttavia, questo modello deve essere ulteriormente integrato e interpretato in funzione dei tempi effettivi di carico e scarico, nonché dell'umidità media del legno strutturale, per tenere dovuto conto del *fluage* e del comportamento mecano-sorbitivo che caratterizzano fortemente, ambedue, la risposta sotto carico di questo materiale, introducendo eventuali non linearità delle rampe e conseguenti componenti dell'area sotto la curva non riconducibili a isteresi plastica del tipo sopra evocato, né ai meccanismi dissipativi collegati a quest'ultima. Se d'interesse per i lettori, il tema potrà essere approfondito in un ulteriore contributo.