

Dipartimento di Ingegneria

Università degli Studi di Ferrara

Corso di

“PROGETTAZIONE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI”

Prof. Ing. Maurizio Biolcati Rinaldi

***STRUTTURE LIGNEE DI
ORIZZONTAMENTO***

Sintesi degli argomenti trattati a lezione

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

Solaio – chiusura orizzontale costituita da strutture di sostegno orizzontale caricate ortogonalmente al proprio piano per la copertura di ambienti con comportamento resistente prevalentemente monodirezionale. Assolve alla sicurezza statica e ripartisce i carichi sulle travi e /o sulle murature d’ambito.

Solaio ligneo – costituito da elementi portanti (travi, travetti) e da elementi portati (assito o tavelle laterizie, sottofondo pavimentazione) e può essere considerato come unità strutturale.

| | |
|---|---|
| <p>Concezione strutturale</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ sostegno dei carichi verticali ➤ “irrigidimento” (nel proprio piano) ➤ collegamento ed incatenamento nei muri d’ambito |
| <p>Dimensionamento</p> | <p>in funzione di:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ luce da superare, ➤ carichi da sopportare, ➤ resistenza dell’essenza legnosa a disposizione, ➤ deformazione ammissibile. |
| <p>Concezione del comfort ambientale e della sicurezza</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ coibenza acustica soprattutto nel caso di solai di interpiano, ➤ coibenza termica soprattutto nei solai di copertura, ➤ resistenza adeguata al fuoco in caso di incendio. |

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

I solai in legno si possono suddividere in tre categorie principali:

1. **solai semplici**, monodirezionali, formati da elementi a sezione rettangolare orditi parallelamente alla luce minore dell'ambiente e col lato maggiore della sezione della trave disposta in verticale.
2. **solai a doppia orditura**;
3. **solai bidirezionali**.

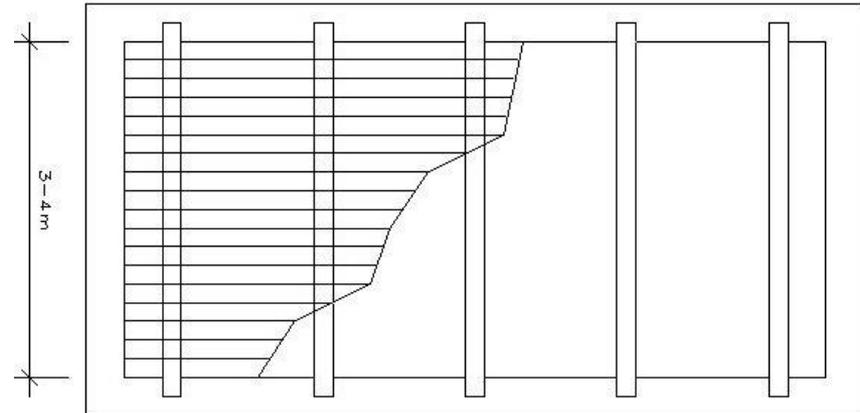
Solaio tradizionale a doppia orditura: si nota la trave principale vistosamente inflessa ed ammalorata



Solaio realizzato con travi lamellari a doppia orditura: si nota che la trave principale ha dimensioni limitate a causa della struttura tesa posta all'intradosso che consente l'interposizione di due appoggi intermedi

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

SOLAI A SEMPLICE ORDITURA



SOLAI A SEMPLICE ORDITURA

➤ **travi**: parallele al lato minore del vano, con interasse variabile da 30 a 80 cm. a seconda del tipo di pavimentazione

➤ **pavimentazione**: può essere costituita da:

- semplice assito, di spessore variabile fra i 2 e i 3 cm
- assito più caldaia di malta cementizia di 2 - 3 cm. più cotto
- tavole di cotto semplicemente appoggiate (interasse di 30-35 cm)

➤ **controsoffitto**: talvolta l'intradosso del solaio è rivestito con strutture appese composte:

➤ **cannicciato (arellato)**, composto da canne legate strettamente intonacate all'intradosso con malta di gesso

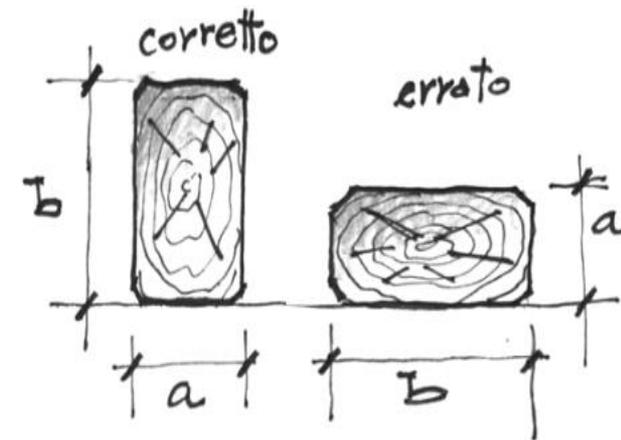
➤ **rete metallica intonacata** (sistema di recente introduzione)

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

SOLAI A SEMPLICE ORDITURA

Gli elementi maggiormente utilizzati sono travetti, aventi sezione con larghezza di base compresa tra metà e 3/4 dell'altezza e dimensioni in cm comprese fra circa 9x12 e 12x18, oppure panconi aventi sezione con base ristretta di larghezza, compresa fra 5 e 8 cm, ed altezza tre o quattro volte maggiore della base.

Le travi sono preferibilmente e più razionalmente disposte per coltello, ma si trovano esempi medioevali e rinascimentali di travi disposte di piatto, generalmente molto fitte.

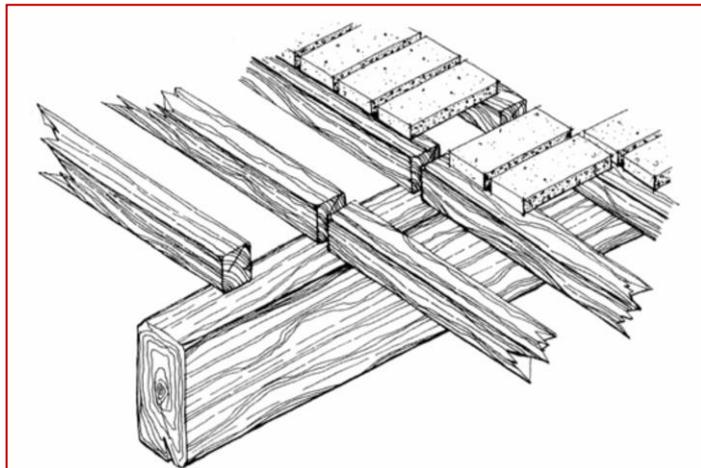
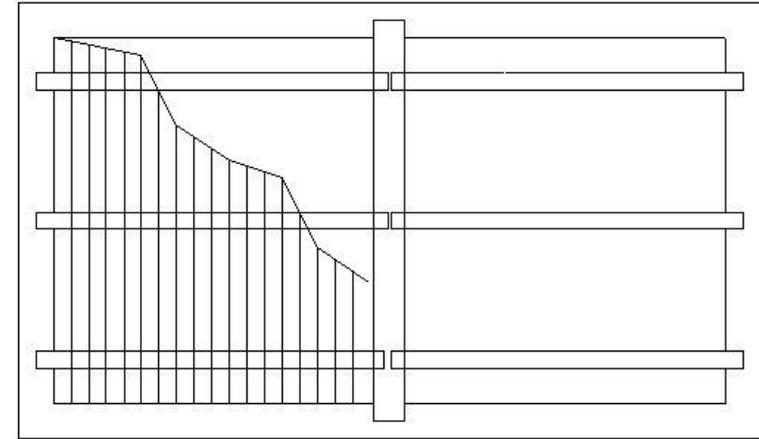


STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

SOLAI A DOPPIA ORDITURA

SOLAI A ORDITURA COMPOSTA

- **travi principali** parallele al lato minore del vano, ad interasse variabile fra 2,00 m. e 4,50 m.
- **travi secondarie** disposte ortogonalmente, con passo più raffittito e comunque con interasse ottenuto dividendo in parti uguali il lato lungo.
- **appoggio sui muri** di almeno 25 cm



Solaio composto a doppia orditura

← con pianelle di laterizio

→ con assito

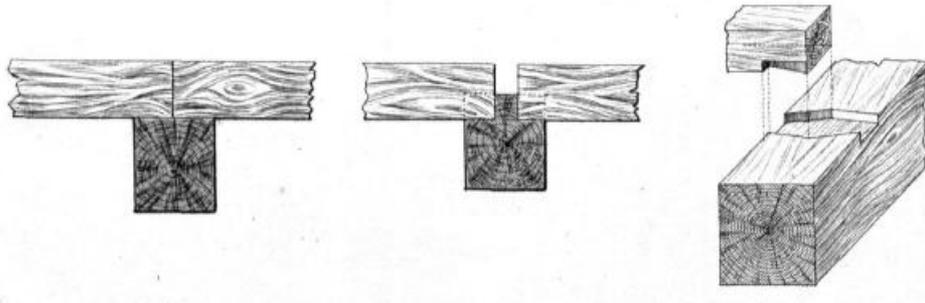


STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

appoggio travetti sopra le travi maestre

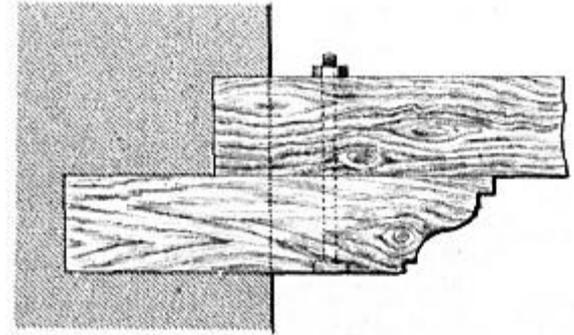
Sono disposti o con gli assi allineati, poggiando su metà larghezza della trave, o con gli assi sfalsati poggiando interamente su tutta la larghezza della trave.

E' preferibile connettere i travetti in modo che l'estradosso corrisponda con quello della trave.

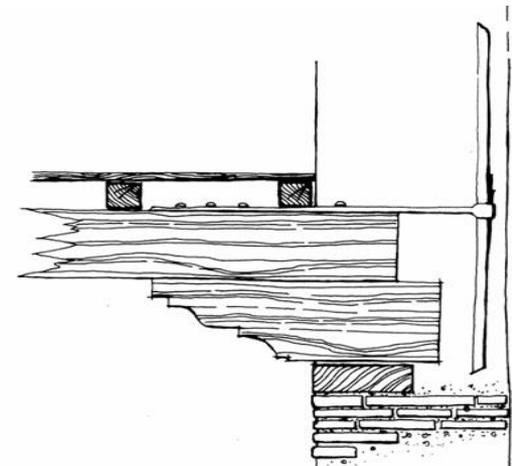


Dettagli dell'appoggio dei travetti sulle travi, sull'estradosso o parzialmente in appoggio

appoggio delle travi maestre sul muro



Dettaglio dell'appoggio della trave principale: trave vincolata al dormiente con una chiavarda



Collegamento della trave maestra al muro con capochiave esterno

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO



Solai a semplice orditura
(monodirezionali)



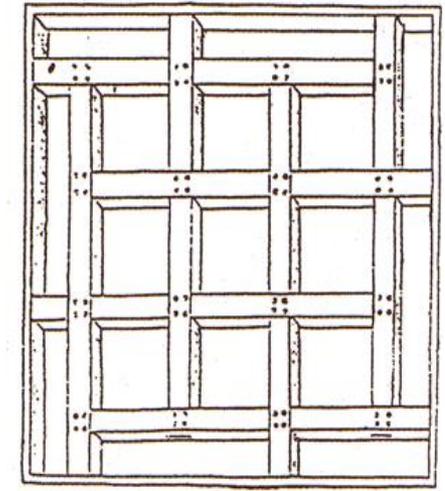
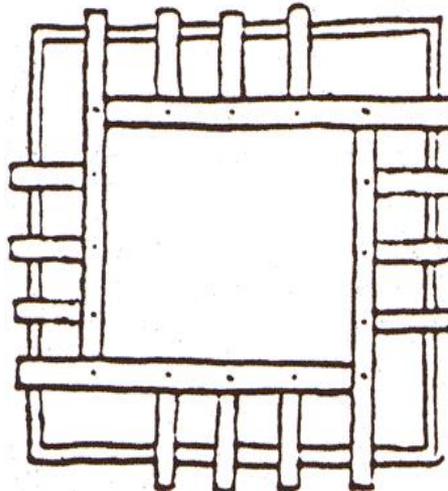
Solai a doppia orditura
(bidirezionali)

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

SOLAI BIDIREZIONALI

Sono solai a travi non parallele, ottenuti incrociando, con diverse disposizioni, travi di lunghezza inferiore alla luce dell'ambiente.

Questa tipologia di solaio è stata proposta inizialmente da Villard de Honnecourt nel XIII e successivamente da Sebastiano Serlio, nel Rinascimento, ma rimane un modello teorico per realizzare le strutture orizzontali in presenza di una carenza di assi di una determinata lunghezza, per mancanza di alberi di alto fusto.



STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO**SOLAI MISTI CON TRAVI DI LEGNO E VOLTINE**

Sono formati da travi intere, grossolanamente squadrate, poggianti sui setti murari maestri, aventi una luce massima di 4-6 m, collocate a un interasse di 90-100 cm, con la sezione disposta in senso diagonale (a rombo) o orizzontale: nel caso di disposizione a rombo le facce inclinate delle travi formano l'imposta ad una voltina gettata tra una trave e l'altra; nel caso di disposizione in orizzontale le voltine si inseriscono in apposite scanalature ricavate sui lati delle travi.

Sono tipologie riprodotte nei manuali di costruzione lignee della scuola tedesca, ma non si sa quanto diffuse.

Le **volte in camorcanna** (o false volte) sono prive di qualsiasi funzione statica, ma sono costruite unicamente per motivi estetici, cioè per nobilitare gli interni dei palazzi signorili e delle chiese più modeste. La tecnica si diffonde probabilmente nel XVII secolo, in seguito all'affermazione dello stile barocco (e quindi della ricerca di un maggiore fasto decorativo), per poi mantenersi elevato nei secoli XVIII e XIX,



Solaio con travi di legno e voltine: disposizione a rombo

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

SOLAI MISTI CON TRAVI DI LEGNO E VOLTINE: VOLTE IN CAMORCANA - Componenti

- Orditura primaria della struttura di sostegno - una serie di centine lignee - parallela al lato più corto della stanza -, formate da tavole grossolane (cioè simili a quelle visibili in un solaio non pregiato) fissate tra loro da incastri e chiodature vengono appoggiate sulla muratura (o su una cornice aggettante predisposta appositamente) in corrispondenza dell'imposta, e nelle zone superiori (e soprattutto in chiave) appese al solaio sovrastante o alle catene delle capriate o direttamente alla struttura portante della copertura. L'ancoraggio avviene mediante tondini o barre in metallo, oppure listelli di legno inchiodati direttamente sul fianco degli elementi lignei..
- Orditura secondaria - orditura di listelli di legno appena sbozzati, disposta perpendicolarmente rispetto alle centine, con sezioni più sottili delle stesse, e un passo di circa 40-70 cm; hanno la funzione fondamentale di controventare il sistema delle centine e fornire un maggior numero di punti di ancoraggio per le sottostanti stuoie in cannucciato. I listelli sono fissati alle centine con incastri e chiodature.
- Strato di cannucciato (arelle) - stuoie o semplici serie accostate di canne palustri, vimini o rametti flessibili (ad esempio di salice), legate tra loro con fili di fibre naturali (generalmente canapa) o, per gli esemplari più recenti, di ferro o nylon. Lo strato è inchiodato direttamente alla struttura di sostegno e segue perfettamente la forma della struttura di sostegno, delineando con precisione la geometria della falsa volta, e inoltre costituisce un supporto a cui l'intonaco aderisce facilmente.
- Strato di intonaco - malta di gesso, posata dall'intradosso della falsa volta, in modo da penetrare perfettamente in ogni interstizio del cannuccio, formando un guscio omogeneo, rigido e sufficientemente solido. Spesso viene decorato.

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

DETTAGLI COSTRUTTIVI DA CURARE NELLA PROGETTAZIONE O NEI RECUPERI

Il dettaglio più delicato è l'appoggio a muro delle travi per i seguenti motivi:

- le caratteristiche meccaniche della muratura non sempre sono sufficienti a sopportare lo sforzo trasmesso dalla trave;
- la muratura può portare umidità (di risalita e/o proveniente dalla facciata esterna dell'edificio) e provocare il degrado biologico del legno di testata;
- se le travi non sono connesse alle murature, in caso di sisma queste potrebbero sfilarsi dai muri provocando gravi danni strutturali;
- se il solaio è rigido nel proprio piano e deve contribuire al comportamento scatolare dell'edificio, le travi o la eventuale soletta o tavolato devono essere efficacemente collegate alla muratura;
- nel caso di murature a più paramenti (murature a sacco) è necessario che il solaio si appoggi a tutti i paramenti;
- le travi umide che stagionano in opera subiscono diminuzione della sezione, pertanto tendono a distaccarsi dalle sede di appoggio e far abbassare il solaio della quantità pari al ritiro della sezione in altezza;
- le travi umide che stagionano in opera possono subire una svergolatura che se contrastata dalla muratura di appoggio, può lesionare il muro o rompere la trave per torsione.

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

CAUSE E MANIFESTAZIONI DEI DISSESTI

Il degrado strutturale di un solaio ligneo, in particolar modo di un solaio a doppia orditura, deriva da:

- configurazione inadeguata;
- carichi eccessivi rispetto alla configurazione dell'unità strutturale;
- insufficiente dimensionamento delle travi principali;
- interasse eccessivo rispetto alle luci degli ambienti.

Altre cause - la durata prolungata delle azioni, le sollecitazioni dinamiche, il regime variabile dei carichi che provoca fenomeni di fatica del materiale, l'elevata umidità che riduce molto la resistenza del legname, i difetti del legname, gli attacchi biotici (funghi e insetti).

Nel legno attaccato da funghi si ha una drastica riduzione della resistenza alle sollecitazioni meccaniche perché la sezione resistente si riduce in ragione del materiale mangiato dalle larve. E' proprio in corrispondenza degli appoggi, dove in generale il taglio raggiunge valori massimi nelle travi, che la riduzione di resistenza causata da insetti e da funghi può provocare la rottura.

Le manifestazioni dei dissesti più ricorrenti sono le depressioni nella parte centrale del solaio e le rotture dei pavimenti con fessurazioni, che si dispongono in prossimità delle pareti perpendicolarmente all'orditura delle travi principali.

La rottura di una trave non comporta, in genere, il crollo dell'intera unità strutturale perché intervengono fenomeni di solidarietà tra gli elementi costituenti, sostenendo la membratura che ha subito il collasso. A ciò, infatti, provvedono le travi secondarie e le tavole dell'assito, grazie ai collegamenti, costituiti da chiodi e agli incastri eventualmente presenti.

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

Il piano di calpestio

Terrazzo alla veneziana (pavimentazione tipica dell'area veneziana e triveneta)

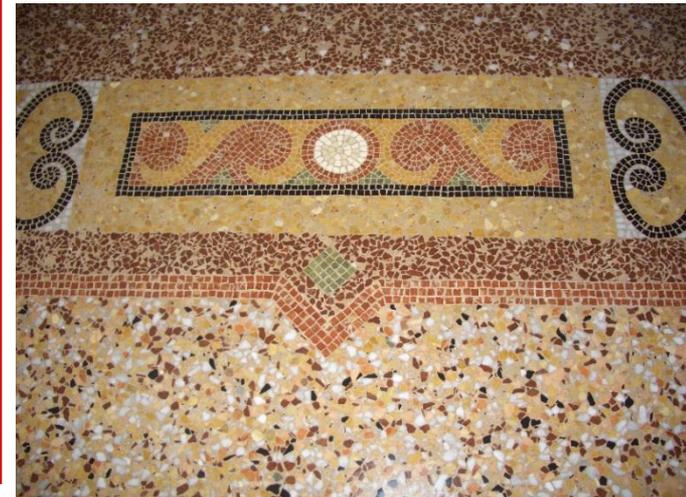
1. Sottofondo, disposto sopra il tavolato ha uno spessore variabile da 10 a 20 cm, composto da cotto frantumato (vecchi mattoni o coppi) e una minore parte di pietrisco, mescolati con calce spenta nel rapporto di 4:1 e acqua
2. Coperta o coprifondo formato da uno strato di mattoni o coppi macinati mescolati con calce rapporto 3:1 stesa a cazzuola con spessore di 2 – 4 cm. Il materiale ha una colorazione rosacea
3. Stabilitura, ultimo strato del terrazzo con spessore che varia in funzione della dimensione del seminato, ordinariamente tra i 1 e 2 cm. E' particolare malta composta da calce spenta e polvere di marmo con rapporto 2:1
4. Semina, posa a mano di scaglie di marmo sulla stabilitura, aventi dimensioni variabili tra i 5 e 40 mm
5. Rullatura e battitura, si inserisce meccanicamente la semina all'interno della stabilitura , l'operazione avviene contemporaneamente alla battitura che liscia e livella Lisciatura e levigatura, operazione manuale di eliminazione delle asperità con cazzuola accompagnata da una levigatura con pietra arenaria
6. Stuccatura e lucidatura, eseguita a mano con stucco in pasta composto da calce e polvere fine di cotto. La lucidatura viene eseguita dopo lavaggio con olio di lino cotto

Da: Paolo Faccio, Università IUAV di Venezia

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

Attività per la costruzione di un terrazzo alla veneziana

1. Stesa del coprifondo o coperta, che viene completata mediante ripetuta battitura per l'assorbimento lento dell'acqua che dopo due o tre giorni può ricevere la stabilitura
2. Livellazione della coperta Stesa della stabilitura, all'impasto possono essere aggiunte terre colorate
3. Posa del granulato o semina, composta da granulato di unica dimensione o varia pezzatura dal colore vivace. La qualità del pavimento dipende dalla regolarità della semina che deve essere eseguita porgendo il lato liscio
4. Rullatura, operazione che continua sino al raggiungimento di un impasto compatto, tanto da renderlo apparentemente tutt'uno con la stabilitura
5. Battitura che rende il terrazzo ancora fresco omogeneo e ancorato alla sottostante stabilitura
6. Trascinata eseguita con l'orso, prima levigatura eseguita con il terrazzo ancora fresco. L'orso è un attrezzo dotato all'estremità di una pietra molare
7. Lisciatura e levigatura
8. Spalmatura dell'olio



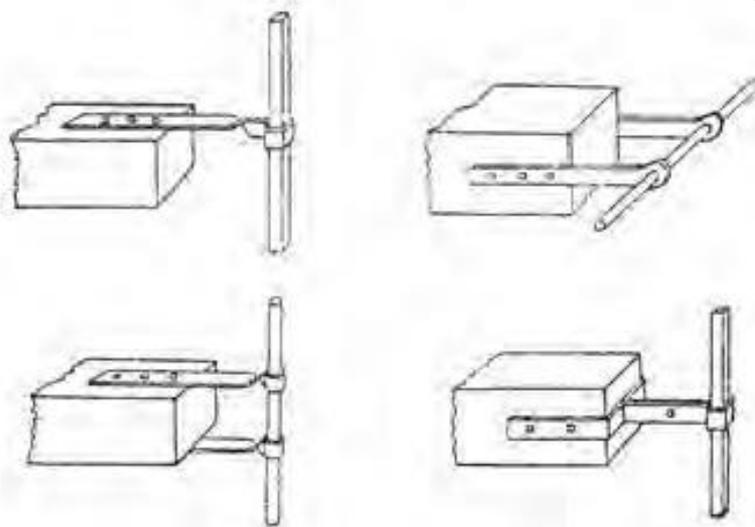
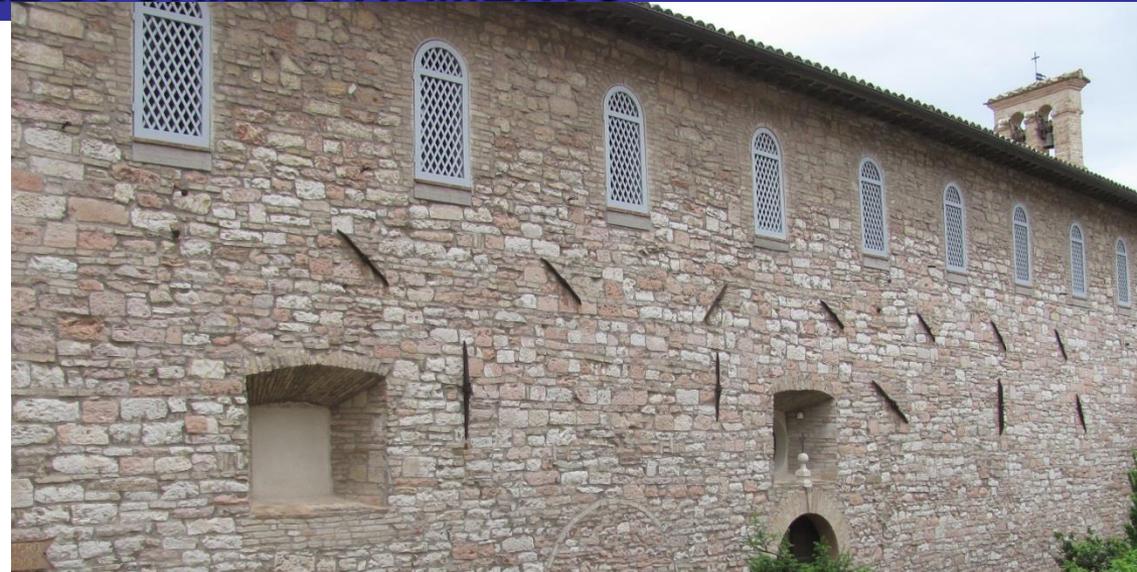
Da: Paolo Faccio, Università IUAV di Venezia

STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

CAPOCHIAVE

Ancoraggio delle travi lignee alle pareti, per evitare sfilamenti della trave dall'appoggio.

1. Garantisce l'efficienza statica dell'ammorsamento.



Ancoraggi tradizionali delle travi di legno dei solai alla muratura

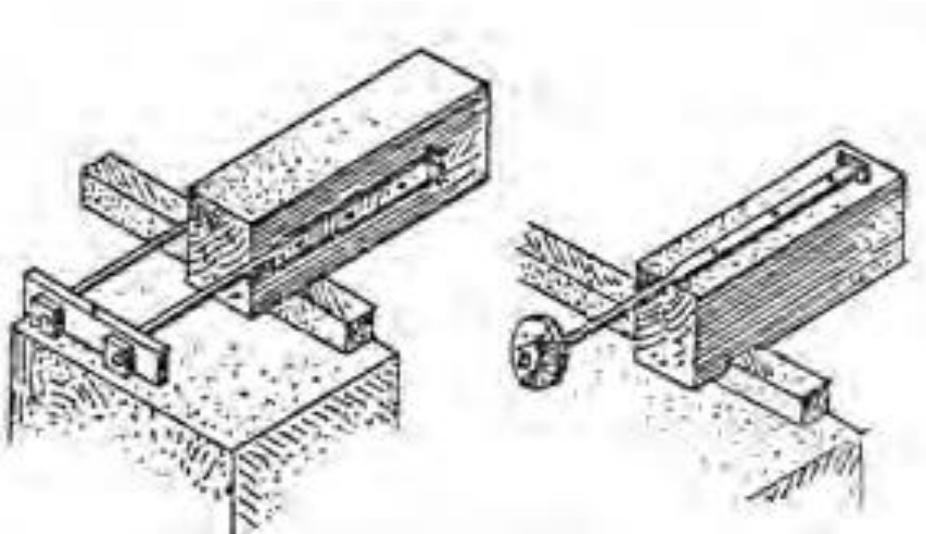
STRUTTURE DI ORIZZONTAMENTO

CAPOCHIAVE

2. Garantisce la durabilità se la testa delle travi è sempre asciutta. Non si deva far arrivare l'acqua o se arriva (per umidità ascendente, per pioggia battente, per vapore ambientale, per ponte Termico) deve essere fatta sparire in fretta tramite l'areazione ottenibile staccando la testa dal contatto col muro interponendo un appoggio isolante o comunque di "sacrificio" o almeno lasciando una fessura di aerazione attorno alla testa della trave.



Capochiave a paletto



Capochiave a piastra

Criteria di indagine sul deterioramento delle strutture lignee

Determinazione dell'umidità

- adottare un metodo indiretto, non distruttivo, utilizzando gli igrometri (strumenti a mano)

Valutazione del degrado meccanico

- rilevare preventivamente di tutte le lesioni a livello di complesso e, successivamente, di quelle a livelli sempre più bassi della scala gerarchica dell'organizzazione, quindi a livello di unità strutturali, di collegamenti, di membrature
- riconoscere e distinguere le fenditure da ritiro dalle fessurazioni di carattere meccanico
- ricordare che le fenditure da ritiro e le lesioni varie rientrano fra le caratteristiche che influiscono sulle prestazioni del legname strutturale e sono prese in considerazione quasi da tutte le Norme nazionali e internazionali di classificazione a vista, che ne limitano la presenza e l'estensione

PROGETTAZIONE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI

IL LEGNO DA COSTRUZIONE

Le **fenditure da ritiro** - si distinguono da qualsiasi altro tipo di discontinuità del legno per la seguente combinazione di caratteristiche:

- hanno un particolare meccanismo di formazione: si aprono in conseguenza della stagionatura o essiccazione del legno, e quindi non sono visibili nel legno fresco oppure nel legno che, una volta stagionato, abbia riacquisito sufficiente umidità per contatto con acqua o con atmosfera molto umida;
- decorrono rigorosamente nella direzione della fibratura del legno e mai trasversalmente od obliquamente ad essa (a differenza di molte rotture);
- in sezione trasversale, il loro andamento segue la direzione radiale del legno;
- spesso il midollo del tronco costituisce il vertice della fessurazione, che in sezione trasversale assume una caratteristica forma a “V”;
- in genere non sono passanti, perciò può verificarsi la contemporanea presenza di fenditure su facce opposte dell'elemento ligneo; nel qual caso esse si arrestano sul cuore e si dispongono su piani differenti;
- tendono ad allargarsi o estendersi se il clima è secco; viceversa tendono a chiudersi quando l'umidità ambientale aumenta.

Le **fessurazioni**, a differenza delle fenditure da ritiro, hanno diretto e riconoscibile rapporto con le cause, mentre non hanno rapporto con l'andamento delle fibre. Esse si manifestano mediante linee di frattura e cedimenti che attraversano in varie direzioni la fibratura del legno. Le più pericolose sono quelle trasversali.



PROGETTAZIONE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI

IL LEGNO DA COSTRUZIONE

Rischio biologico

Dipende dalle condizioni ambientali in cui il legno in opera si viene a trovare.

La UNI EN 335 definisce le classi di rischio biologico e, relativamente a ciascuna di esse, le condizioni di servizio del legno, la sua umidità e la tipologia di attacco.

| Classe di rischio | Situazione del legno in opera | Esposizione ed umidificazione | Umidità del legno |
|-------------------|---|--|-----------------------|
| 1 | Non a contatto del terreno ed al coperto | Sempre secco | Sempre < 20% |
| 2 | Non a contatto del terreno ed al coperto | Umidificazione occasionale intermittente | Occasionalmente > 20% |
| 3 | Non a contatto del terreno e non al coperto | Umidificazione frequente | Frequentemente > 20% |
| 4 | Nel terreno e in acqua dolce | Umidificazione permanente | Permanentemente > 20% |
| 5 | In acqua di mare | Umidificazione permanente | Permanentemente > 20% |

La classificazione del legname in opera secondo tale metodo operativo della La UNI EN 335 può essere in grado di determinare, mediante un semplice rilievo metrico visivo e ambientale, la possibilità che un determinato manufatto ligneo ha di essere oggetto di degrado per cause biologiche. Inoltre, nel caso in cui si debba procedere ad un intervento di consolidamento delle strutture lignee con trattamenti preservativi, questa classificazione risulta di grande utilità.

PROGETTAZIONE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI

IL LEGNO DA COSTRUZIONE

Esame visivo

Primo mezzo di valutazione che deve essere applicato nel caso dell'ispezione di una struttura. Due metodi grossolani ma utili in una prima fase, successivamente o contestualmente all'esame visivo: la percussione con martello e l'uso del cacciavite.

Percussione con martello - consiste nel percuotere la superficie dell'elemento strutturale con un martello e nell'ascoltare il suono prodotto dalla percussione. La presenza di legno degradato o di cavità all'interno di un elemento ne modifica la risposta alla vibrazione nel campo udibile, quando esso è sottoposto a sollecitazioni di tipo dinamico.

- *Vantaggi* - la semplicità, l'economicità, la rapidità di esecuzione.

- *Svantaggi* - una non trascurabile componente soggettiva, la dipendenza della risposta da numerose variabili per la maggior parte non controllabili (massa del martello, dimensioni della trave, specie legnosa), l'influenza sulla risposta di altri fattori non connessi al degrado ma piuttosto alla qualità del materiale (difetti come nodi, cipollature, fessurazioni varie).

Uso del cacciavite (o del punteruolo) - tecnica modestamente distruttiva e consiste nell'ingfiere l'attrezzo nel legno per mezzo di un martello e nel valutare l'approfondimento della punta allo scopo di stimare la profondità in corrispondenza della quale il danno diventa trascurabile. Il principio su cui si basa è che il legno degradato presenta una minore resistenza alla penetrazione. A parte la maggiore sensibilità, questa tecnica presenta più o meno gli stessi vantaggi, svantaggi e limitazioni della precedente.

L'esame visivo non è sempre in grado di fornire informazioni sull'entità del danno e sull'effettivo stato del legno al suo interno, e soprattutto non è oggettivo, per quanto sia eseguito da un occhio esperto.

ELEMENTI DI ANALISI DEL DEGRADO E DEI DISSESTI

COMPLESSA ANALISI METODOLOGICA BASATA SU 3 PUNTI FONDAMENTALI

1. ANAMNESI

RACCOLTA DI DATI FINALIZZATA ALLA RESTITUZIONE DELLA STORIA PREGRESSA DELLA STRUTTURA

- *Datatione relativa alla realizzazione*
- *Documentazione di progetto*
- *Destinazioni e usi*
- *Alterazioni apportate alla configurazione originaria e gli eventuali interventi di consolidamento attuati*
- *Metodi costruttivi e le tecniche in uso all'epoca della costruzione*

2. RILIEVO GEOMETRICO E RAPPRESENTAZIONE

SCHIZZI DI CANTIERE CHE DESCRIVANO LA GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

- *Rilievo diretto e strumentale, con metri a nastro e calibri di precisione*
- *Identificazione numerica progressiva di ogni elemento indagato*
- *Collocazione sulla pianta*
- *Report fotografico*

3. INDAGINE DIAGNOSTICA

3,1, CONDIZIONI PRELIMINARI

- *Accessibilità*
- *Pulizia*
- *Illuminazione*

3,2, PROVE IN SITU E IN LABORATORIO

• Penetrometrie

- *Forniscono informazioni solo sul degrado superficiale → spesso inadeguati*

Penetrometro
Wood Pecker



• Misurazione dell'umidità

- *Il metodo di misurazione a resistenza è il più utilizzato.*
- *La resistenza elettrica aumenta al diminuire dell'umidità.*



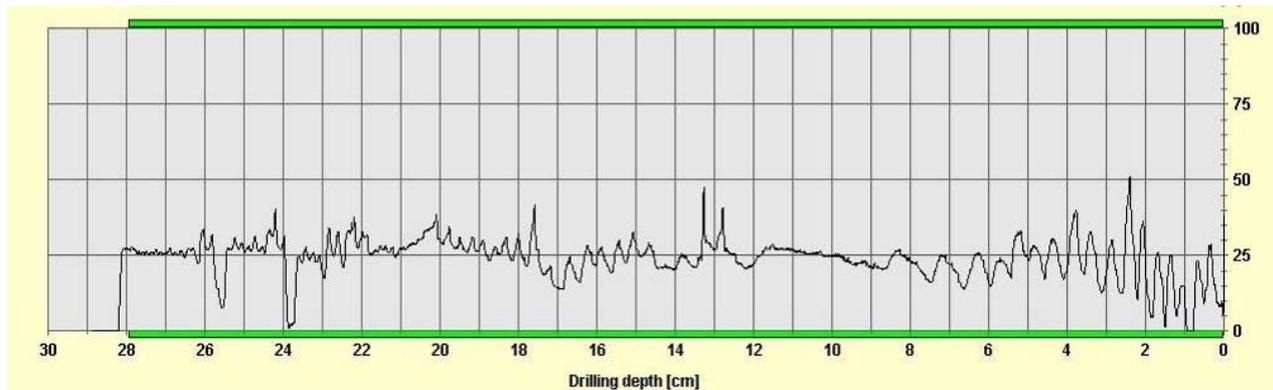
Igrometro a
resistenza

3. INDAGINE DIAGNOSTICA

3,2, PROVE IN SITU E IN LABORATORIO

- Prove con trapani strumentati

*Misurano l'energia che viene assorbita per consentire l'avanzamento della punta.
Tecnica più versatile e soddisfacente a livello applicativo.
Permette di avere informazioni sul degrado anche in parti inaccessibili.*



3. INDAGINE DIAGNOSTICA

3,3, CLASSIFICAZIONE DEL LEGNAME IN OPERA

Sistemi di classificazione secondo la resistenza

Compatibilmente con la conservazione del manufatto, si possono eseguire dei prelievi.



Trivella di Pressler



Trapano con punta carotatrice

3. INDAGINE DIAGNOSTICA

3.3, CLASSIFICAZIONE DEL LEGNAME IN OPERA

Sistemi di classificazione secondo la resistenza

1. PROPRIETÀ MECCANICHE ↔ TENSIONI AMMISSIBILI

2. VALUTAZIONE VISIVA
3. MISURAZIONI NON DISTRUTTIVE

→ CLASSIFICAZIONE

STRUTTURE
NUOVE

STRUTTURE
ANTICHE

Classificazione secondo le classi di resistenza previste dalla UNI EN 338

Classificazione secondo le classi di resistenza previste dalla UNI 11119

Tecniche di indagine basate su misure locali

Penetrometrie

Si basano sulla durezza superficiale del legno, può essere citato il “Metodo Turrini-Piazza” che consiste nel misurare il parametro R, valore della forza necessaria (in Newton) a far penetrare nel legno una sfera di acciaio di diametro 10mm per una profondità pari al raggio (5mm), e di rapportarlo al modulo di elasticità E (in MPa). Una formula empirica dà il valore cercato: $E = 350 \cdot R^{0,5}$.

Misurazione umidità

Il metodo di misurazione a conducibilità o a resistenza è il più utilizzato. Questi strumenti si basano sulla misurazione della resistenza ohmica o della conducibilità elettrica dipendenti dall'umidità del legno. La resistenza elettrica aumenta al diminuire dell'umidità; inoltre, essa è influenzata dalla direzione di taglio, dalla specie legnosa e dalla temperatura del legno.

L'intervallo di misurazione comincia da circa il 5% di umidità del legno.

Fino a circa il 22% la precisione è pari a circa $\pm 1,5\%$ di umidità; tra il 22% e l'umidità di saturazione delle pareti cellulari (circa il 30%) la precisione è di $\pm 2 \div 2,5\%$. Superato il punto di saturazione, la dipendenza della resistenza elettrica dall'umidità del legno è molto ridotta e l'umidità, quindi, non può più essere misurata con sufficiente affidabilità.

Gli igrometri capacitivi invece, che funzionano con il metodo di misurazione dielettrico (capacitivo), si basano sulla differenza tra le costanti dielettriche del legno allo stato anidro ($\epsilon_r = 2 \div 3$) e dell'acqua ($\epsilon_r = 81$), da cui risulta una forte dipendenza della costante dielettrica del legno umido $\epsilon_{r, \text{Legno}}$ dall'umidità.

PROGETTAZIONE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI

IL LEGNO DA COSTRUZIONE

Prove con trapani strumentati

Le prove che forniscono la resistenza alla trapanatura utilizzano trapani strumentati e valutano la resistenza alla penetrazione della punta in modo indiretto, misurando l'energia che viene assorbita per consentire l'avanzamento della punta stessa a velocità costante o attraverso la registrazione della velocità della punta spinta a pressione costante. Si rilevano così le differenze di resistenza tra tessuti sani e parti degradate del legno oppure caratterizzate da difetti. Con queste prove si può valutare la densità delle diverse parti costituenti la sezione della membratura per poi dedurre la resistenza meccanica approssimativa.

Il trapano Resistograph, ad esempio, è dotato di due motori elettrici che attuano il moto rotatorio della punta ed il movimento di avanzamento della stessa. La velocità di penetrazione si può regolare a 7, 14 o 28 cm/min (40 cm/min i modelli più avanzati). I dati vengono elaborati con l'ausilio di un opportuno modello matematico informatizzato ed il risultato finale che si ottiene è un grafico in cui sull'asse delle ascisse vi è indicata la profondità del foro e sull'asse delle ordinate i valori dell'energia utilizzata.

Se ne riporta un esempio. Le linee hanno andamento e distanza dipendenti dalla resistenza incontrata dalla punta; si infittiscono quando la densità ha valori più alti, mentre in caso contrario sono più distanti. Soluzioni di continuità interna, come fessurazioni o cavità, o zone di degrado presenti, sono registrate con variazioni immediate del tracciato delle linee. I risultati vengono stampati in tempo reale in scala 1:1 su carta termica e vengono inoltre salvati nella memoria in modo da poter essere trasferiti in un secondo tempo sul PC per un'accurata analisi e presentazione tramite appositi software. Queste informazioni sono particolarmente utili per stabilire in seguito qual è la sezione effettivamente resistente.



Prelievo di piccoli campioni

Nella pratica operativa talvolta si utilizzano attrezzature atte a prelevare, dagli elementi lignei, piccoli campioni di forma cilindrica detti “carotine”, in direzione perpendicolare o obliqua rispetto all’asse geometrico principale dell’elemento, sui quali vengono poi eseguite, sul posto o in laboratorio, alcune misurazioni. Il prelievo, quando compatibile con le esigenze della conservazione del manufatto, può essere eseguito con “Trivella di Pressler” o con carotatrici di piccole dimensioni montate su trapano.

