

I solai in legno e laterizio

Le alterne vicende del difficile connubio legno-laterizio sembrano aver trovato conciliazione con la tecnologia mista legno-connettori-calcestruzzo

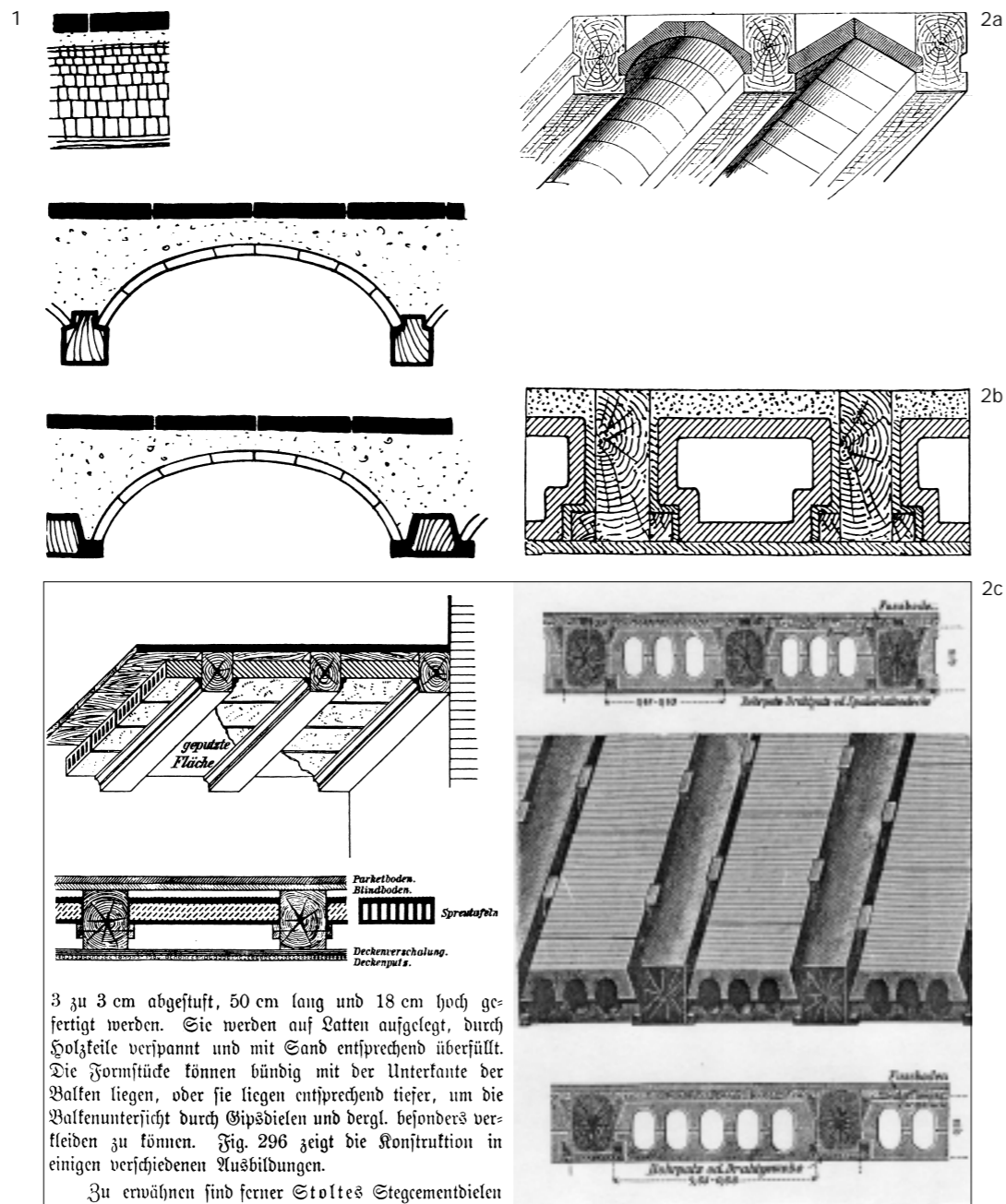
La consuetudine di impiego di pianelle in laterizio poste sopra le travi, principali e secondarie di ridotto interasse, è documentata nelle costruzioni occidentali a partire dal XIII-XIV secolo, benché l'idea di impiegare elementi in laterizio direttamente posati su travetti in legno risalga alla tecnica romana, in particolare per le coperture; per esempio nella *domus* ercolana, le travi maestre del *compluvium* sostenevano travi inclinate, *colliciae*, a loro volta sostegno dei travicelli su cui erano posate le tegole in laterizio.

Vitruvio, nel *De Architectura* (Libro Sesto, cap. III, 1-6), descrive questo sistema di realizzazione delle coperture ma

non approfondisce il modo di sostenere le tegole, come analogamente, nel Rinascimento, non si trovano specifiche descrizioni del modo di realizzare solai con questo sistema.

Vincenzo Scamozzi, per esempio, si limita a descrivere l'uso di elementi in terracotta per le coperture, ma non specifica come posarle in opera, se sopra tavolato o sopra pianelle.

L'uso di voltine in laterizio sostenute da travi in legno appare nel Settecento, in particolare nelle costruzioni rurali della Francia meridionale, in Spagna, in Germania e, in alcuni sporadici casi, in Italia, come documenta la manualistica.



1. Solai con travi in legno e voltine leggere in pianelle di laterizio, presenti nelle costruzioni rurali della Francia meridionale (da Christian Lhuisset, L'architecture rurale en Languedoc, en Roussillon, Espace Sud Editions, Montpellier, 1992).
2a, b, c. Soluzioni per solai misti legno-laterizio e legno-blocchi compositi (legno-cemento, cls alleggerito, ecc.) secondo Otto Warth, Die

Konstruktionen in Holz, Lipsia, 1900.
3. Brevetto Lear: travetti in legno lamellare, armatura grecata unita al lamellare con resine, tavole e getto di calcestruzzo armato collaborante (catalogo RDB-Habitat Legno).
4a, b, c. Soluzioni per solai e coperture misti legno-laterizio (catalogo della ditta Ing. G. Adamoli & C., Milano, 1928).

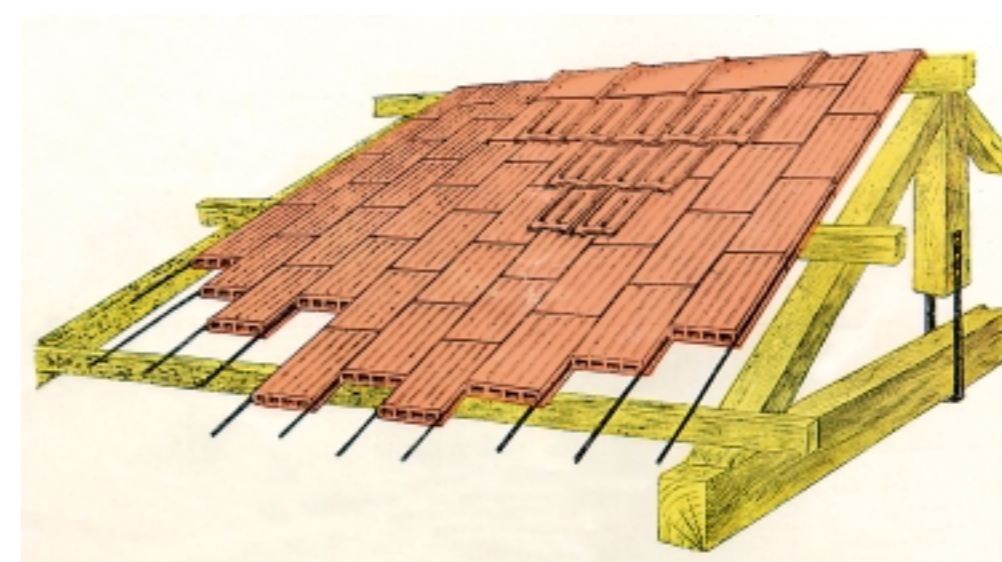
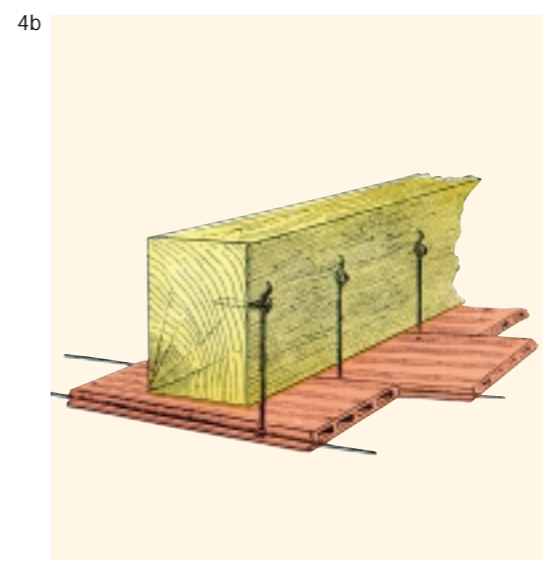
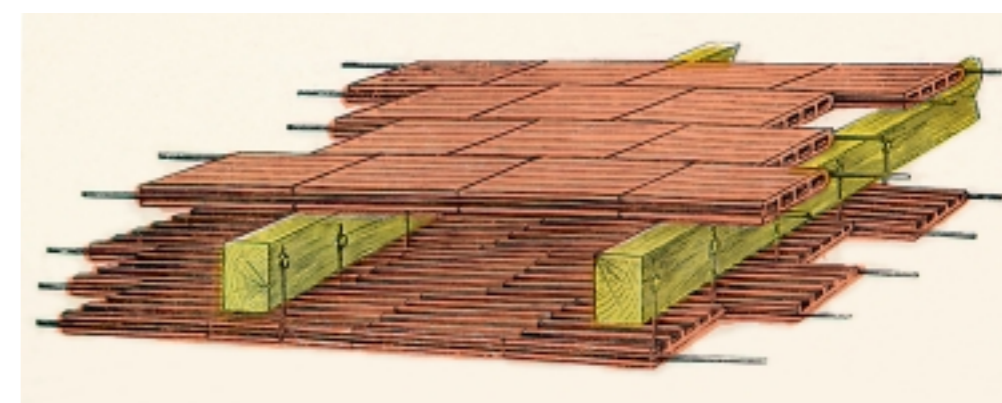
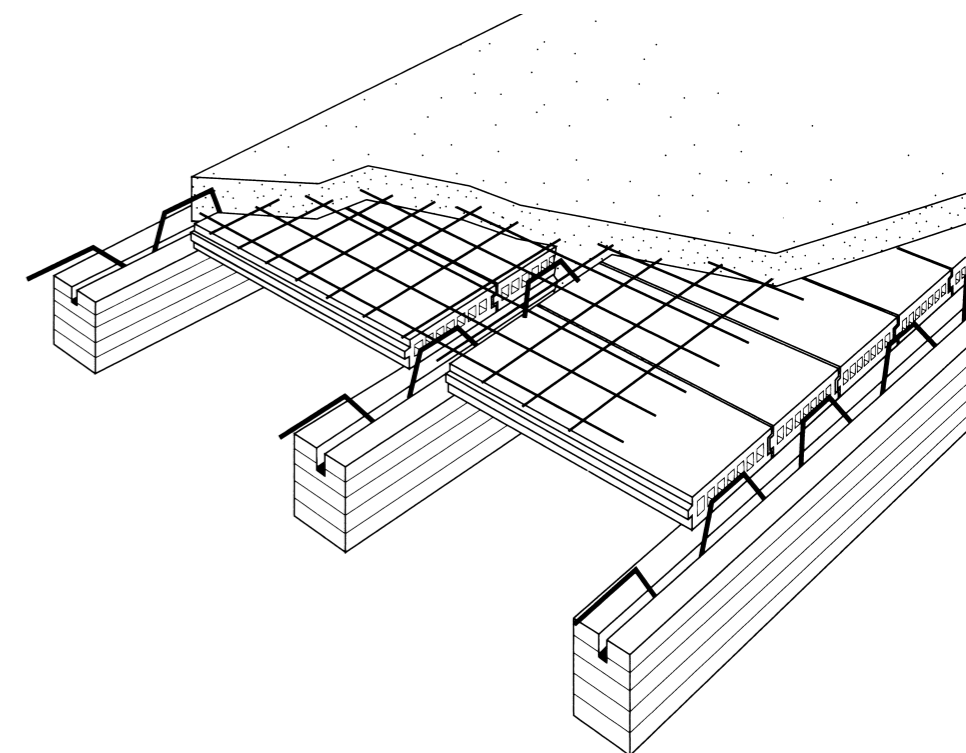
I solai e le coperture con pianelle sostenute direttamente da travicelli continuano, invece, ad essere impiegati fino alla diffusione dei solai con tavelloni forati di laterizio che permettono di aumentare l'interasse dei travicelli. Questo sistema costruttivo trova alterna fortuna di impiego nell'edificato, in particolare nei solai, a causa del suo primario impiego essenzialmente utilizzato nelle costruzioni rurali più economiche.

Nonostante le numerose proposte presenti nei manuali di fine Ottocento e primi del Novecento, questo genere di solai è tornato in auge solo negli anni Novanta. In particolare con i nuovi sistemi per solai misti legno-laterizio-calcestruzzo, come, per esempio, il brevetto Lear che utilizza travetti in legno lamellare, tavole lisce e sovrastante getto di calcestruzzo armato, connesso alle travi in legno mediante un traliccio metallico inserito in una scanalatura praticata nell'estradosso delle stesse travi.

Altre alternative sono costituite dalla sostituzione del tavolato con tavelloni, impiegando comunque il sovrastante getto di calcestruzzo armato, collegato con connettori alle travi lignee.

I sistemi di solaio in legno-laterizio però non si riducono alla semplice posa di pianelle o tavole sopra le travi che, con il sovrastante getto di calcestruzzo, dimostrano efficaci prestazioni, ma suggeriscono anche rinnovate letture di più antiche soluzioni, come l'interposizione di elementi cavi fra le travi, o le voltine a due tavole, oggi senza dubbio da riprendere in considerazione per le possibilità offerte dal legno lamellare di realizzare adeguati profili di travi, semplici o armate.

Il problema sostanziale dell'unione legno-laterizio era costituito, nel passato



5. Curva sforzi-deformazioni di un materiale.
6. Confronto tra l'energia di deformazione volumica legno-laterizio.
7a,b. Solai misti legno-laterizio: semplice e armato.

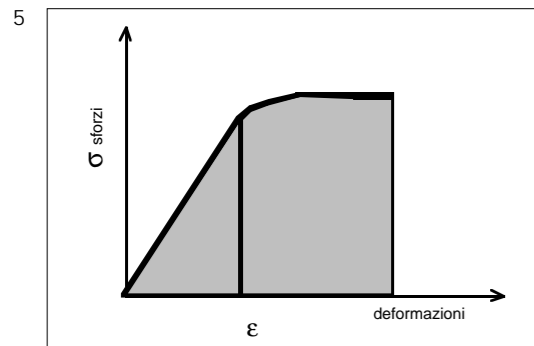
come oggi, dalla deformabilità del legno, un materiale eccellente ma caratterizzato da basso modulo elastico (90.000=100.000 daN/cm²), a cui si contrappone quello più elevato del laterizio (200.000 daN/cm²), con la relativa maggiore capacità di assorbimento di energia di frattura del legno rispetto al laterizio.

Significativo è infatti il confronto fra l'energia di deformazione accettabile dai due materiali, data dall'area sottesa dalla curva sforzi-deformazioni:

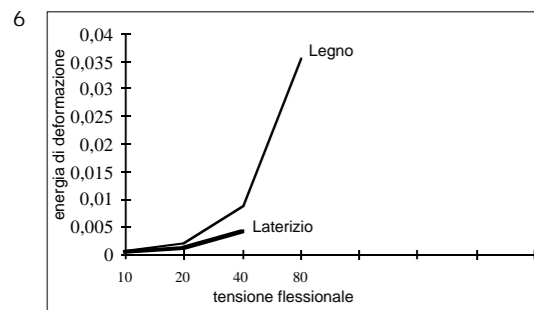
$$\eta = \int_0^{\epsilon} \sigma \, d\epsilon$$

che in campo elastico è l'area del triangolo sotteso dalla retta del diagramma sforzi-deformazioni (fig. 5):

$$\eta = \frac{1}{2} \sigma \epsilon = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{E} \text{ essendo } \epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

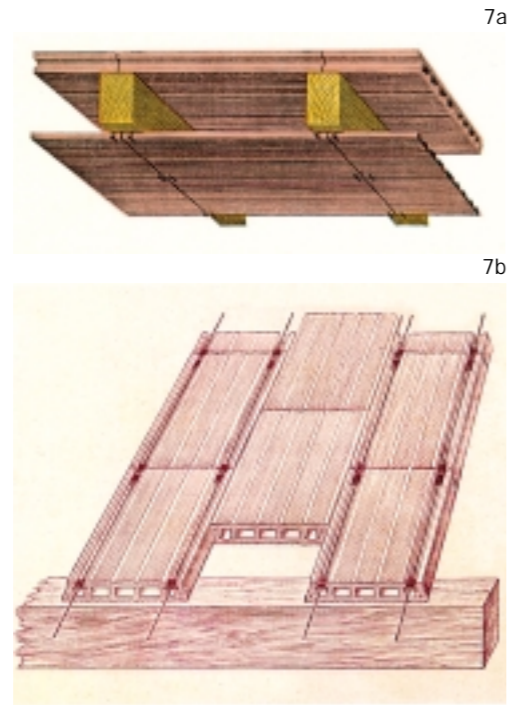


Il grafico di fig. 6 mostra un confronto fra l'energia di deformazione volumica accettabile dal laterizio, retta inferiore, e il legno; il laterizio si suppone si fratturi per flessione a 40 daN/cm², mentre la tensione di riferimento per il legno è stata bloccata a 80 daN/cm², per motivi di confrontabilità:



Fino ai 40 daN/cm², il rapporto rimane pressoché costante e attestato, assumendo un modulo di elasticità del legno di 90.000 daN/cm² e di 200.000 daN/cm² per il laterizio, sul valore di 2,2, corrispondente ovviamente al rapporto fra i moduli elastici dei due materiali; superato questo valore il

legno dimostra un'impennata che può far raggiungere, per valori di rottura per flessione di 400 daN/cm² (10 volte più del laterizio), una notevole capacità di assorbimento di energia di frattura, oltre 220 volte maggiore rispetto a quella a rottura del laterizio.



In tale ottica appare evidente come nei solai misti legno-laterizio, quest'ultimo sia da impiegarsi controllando i fenomeni deformativi del legno, in modo da evitare ogni forma di sollecitazione principale e secondaria non accettabile dal laterizio.

Il dimensionamento delle travi lignee deve quindi essere svolto tenendo primariamente in considerazione il contenimento dei fenomeni deformativi istantanei e differiti, applicando:

$$f_{\text{totale}} = f_{\text{istantanea}} + k f_{\text{differita}}$$

dove il coefficiente k rappresenta l'aumento della deformazione dovuto al rilassamento del legno nel tempo, variabile, in funzione delle condizioni ambientali di umidità, da 0,5 a 2 (mediamente 1).

La metodologia del dimensionamento del legno rispetto alle tensioni ammissibili risulta quindi non sempre soddisfacente, soprattutto quando, per la flessione, si adottano tensioni variabili fra 100 e 120 daN/cm².

Infatti da una serie di correlazioni svolte, dimensionando rispetto a tali valori tensionali, si ottengono mediamente deformazioni teoriche istantanee e differite assai rilevanti, mentre per rispondere alle esigenze

di un moderno solaio ligneo è auspicabile che la freccia totale massima sia attestata sul valore di 1/500 della luce, adottando un modulo elastico variabile fra 80.000 e 90.000 daN/cm² per il legno massiccio e 100.000 daN/cm² per quello lamellare.

In altri termini i valori tensionali e i moduli elastici del legno, presenti nella manualistica, risultano oggi non sempre idonei in quanto riferiti a prove svolte su campioni di legno ideale, di ridotte dimensioni, mentre più recenti sperimentazioni hanno dimostrato la concreta differenza prestazionale fra un campione ideale (piccolo) e un elemento reale, in virtù della presenza di naturali difetti.

Inoltre il legno dimostra una alta percentuale di variazione delle caratteristiche di resistenza, sia fra diverse specie legnose, sia nell'ambito di una medesima specie.

In relazione ai sistemi di solaio con piastre e tavole forate, l'interasse fra i travetti varia dai 25 cm (piastre) ai 50 cm (tavole). Interassi maggiori non sono auspicabili per la modesta capacità di assorbimento di energia volumica di deformazione del laterizio.

Quindi il solaio legno-laterizio, per rispondere alle odierne esigenze richieste a questa soluzione costruttiva, deve necessariamente rivolgersi alla soluzione mista legno-laterizio e getto di calcestruzzo armato.

Supponendo di utilizzare tavole da 6 x 25 x 45 cm (38 daN/m², W_x = 83 cm³), con quattro fori, un sovrastante getto di calcestruzzo armato da 5 cm di spessore (non collaborante) e carico di esercizio di 200 daN/m² (totale 363 daN/m²), si ottiene una tensione unitaria flessionale nel laterizio di 2,7 daN/cm², circa 16÷18 volte inferiore a quella di rottura. Tale soluzione richiede un interasse fra le travi di 45 cm, che, per esempio, per una luce di 4 metri, può portare a travetti lamellari da 12 x 23,1 cm.

Verificando la deformazione totale, supponendo di essere in presenza di un ambiente chiuso con modesta escursione di umidità, si può assumere un coefficiente k, per la deformazione differita, pari a 0,5. Con l'ipotesi di trave appoggiata, soletta non collaborante, E = 100.000 daN/cm², q = 180 daN/m e J_x = 12.326 cm⁴, risulta:

$$f_{\text{totale}} = 0,486 \text{ cm} + (0,5 \times 0,486 \text{ cm}) = 0,73 \text{ cm}$$

pari a 1/547 della luce, deformazione teorica più che accettabile per evitare scompensi nelle tavole, sempre nell'ipotesi della non collaborazione del calcestruzzo armato.

D'altra parte una sezione inferiore, con una lamella in meno, 12 x 19,8 cm, avendo

8. Soluzioni per solai legno-laterizio proposti dalla recente manualistica di area culturale spagnola.
9. Soluzioni per solai misti in legno-laterizio e legno-blocchi compositi, secondo Franz Stade, Die Holzkonstruktionen, Lipsia, 1904.

un momento di inerzia J = 7.762 cm⁴ avrebbe dato una freccia teorica totale pari a 1/348 della luce.

La soluzione tradizionale, con piastre in laterizio, richiede necessariamente un ridotto interasse fra le travi, determinando la soluzione a travi principali e secondarie, che può restituire particolari effetti formali.

Anche in questo caso travicelli e soprattutto travi principali richiedono il contenimento dei fenomeni deformativi, che comunque sono oggi richiesti a qualsiasi solaio in legno, come, analogamente, il relativo controllo delle sezioni in funzione della resistenza al fuoco prescritta.

Su quest'ultimo aspetto è bene rilevare come il solaio misto legno-laterizio dimostri fattori positivi, in quanto, come noto,

sono le sezioni in legno più sottili (il tavolo) a risentire primariamente il problema del fuoco. Infatti in generale il fuoco tende a distruggere circa 0,8 mm di legno per ogni minuto di esposizione, per ogni lato esposto.

Quindi per un generico solaio in travi lignee da 20 x 28,8 cm con sovrastante tavolato da 4 cm di spessore (si supponga un interasse di 80 cm), in 60 minuti di esposizione al fuoco, le travi si riducono a 10,4 x 24 cm, mentre il tavolato in teoria si distrugge completamente.

In sintesi i vantaggi e l'idoneità attuale del solaio in latero-legno si ottengono soprattutto con la soluzione di connessione fra la soletta in calcestruzzo armato e il legno, secondo uno dei diversi sistemi di

unione noti. In questo senso si tratta di comprendere le possibilità del legno e del laterizio e le sinergie ottenibili sfruttando il connubio con il calcestruzzo armato. Si tratta, in altre parole, di superare il preconcetto della "sincerità strutturale" che se portato all'eccesso riduce le possibilità espressive dei materiali e "congela" le soluzioni costruttive.

Infatti l'analisi storica delle tecniche costruttive dell'architettura dimostra la coesistenza di soluzioni in cui esiste una sovrapposibilità fra la struttura formale e quella portante con quelle in cui "l'ossatura" portante è celata alla vista, ma difficilmente è possibile sancire la superiorità di una soluzione rispetto all'altra, in quanto ciò che conta è solo il risultato architettonico.

