

**C 01 | sistemi costruttivi  
sistemi continui (a massa) e sistemi discontinui (a telaio)**

obiettivo del laboratorio è fornire strumenti 'elementari' (e fondamentali) non solo per imparare a progettare, ma anche per imparare a costruire.

**Metafora:** quando un lavoro letterario è tradotto in un'altra lingua il primo problema è quello che riguarda l'uso della corretta sintassi e della corretta grammatica, cioè un fatto essenzialmente tecnico: una conditio sine qua non per la quale se non conosciamo la lingua non possiamo tradurre.

apprendere la tecnica costruttiva è quindi necessario per tradurre un pensiero in un progetto e, successivamente, in una costruzione.



bruno munari, texture

premessa

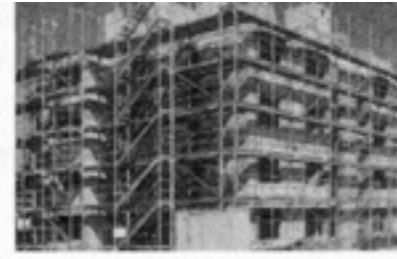
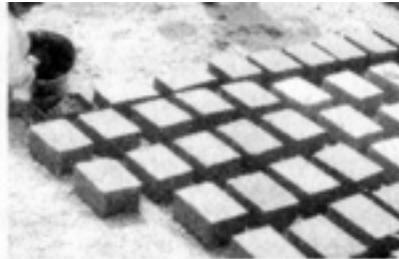
ma questo non è sufficiente:  
quando traduciamo un testo è altrettanto importante 'rifletterne in modo coerente' l'atmosfera ed il senso del testo originale, e questo può a volte arrivare ad influenzare il linguaggio stesso.

secondo Andrea Deplazes, l'architettura è una disciplina simile alla scrittura.

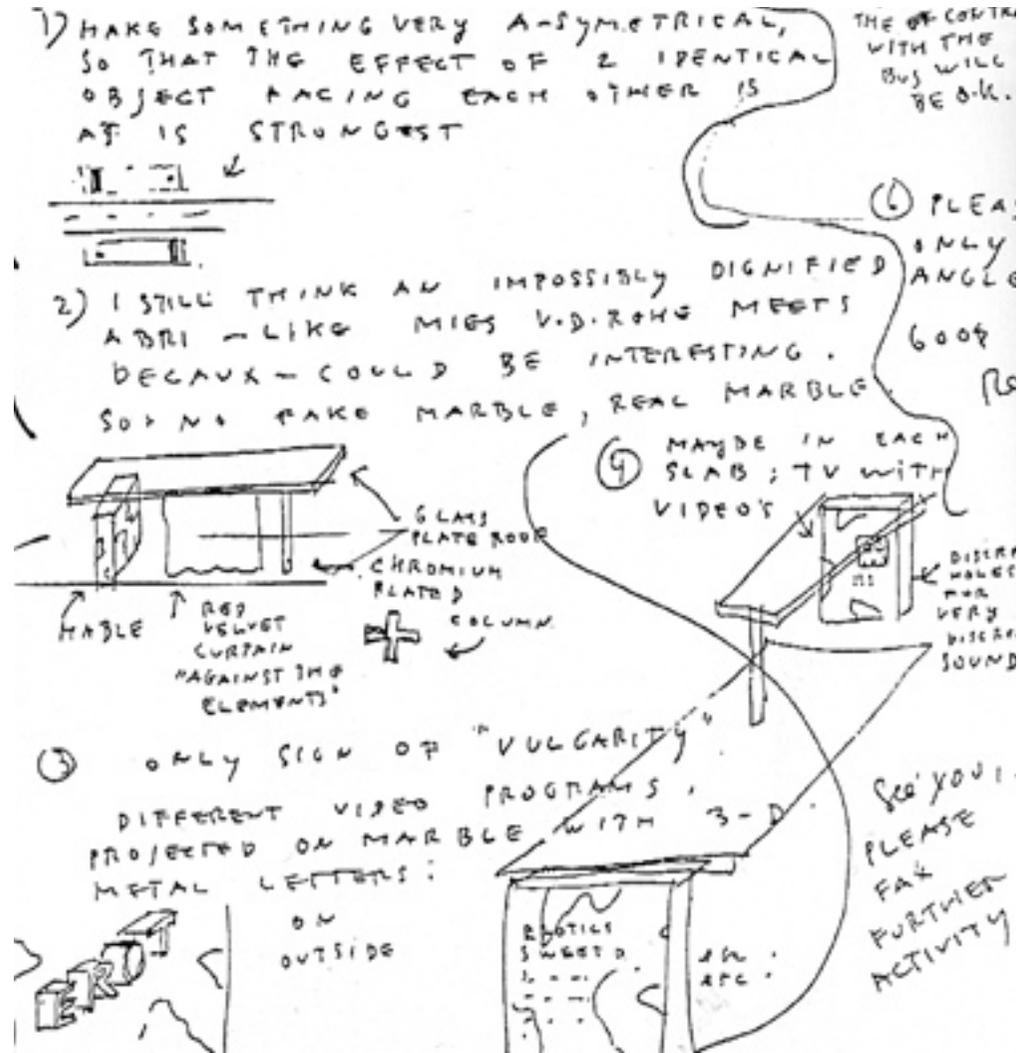
sebbene non si tratti di un linguaggio vero e proprio (con suoni e parole vere e proprie) ha un vocabolario di materiali (MODULI), una grammatica per costruire (ELEMENTI), ed una sintassi strutturale (STRUTTURE).

il PROGETTO combina questo insieme di materiali e di tecniche, questi frammenti senza una relazione apparente e diventa, in questo senso, come un testo.

materiali, moduli, elementi, strutture, costruzioni



se esiste un'idea (concept), cioè un principio che regola il percorso dal progetto alla costruzione, possiamo dire di stare facendo architettura (tettonica), o di stare scrivendo una storia... se nel passaggio alla costruzione quel principio si perde abbiamo solo un 'assemblaggio', un racconto senza filo conduttore...



ona / rem koolhaas, groningen, 1991

dall'idea al progetto

**Kenneth Frampton: a partire dal lavoro teorico di Eugène Viollet-le-Duc e Gottfried Semper 'legge' la storia dell'architettura (dalle sue origini) secondo due categorie:**

**'earthworks' – tutte le costruzioni che utilizzano muri solidi (muratura in pietra, creta, mattoni etc... e forme stereometriche derivate come il muro, l'arco, la volta e la cupola)**

**'roofworks' – tutte le strutture che utilizzano elementi lineari 'ad asta' (strutture cioè intrecciate come fossero tessuti che attraversano lo spazio come coperture formando un tetto, confine superiore dello spazio sottostante).**

**STEREOTOMIA (sistema solido, o sistema a massa)**

**TETTONICA (sistema a filigrana, o sistema a telaio)**

**i primi rifugi effimeri, le prime costruzioni di fortuna nella storia umana sono probabilmente 'sistemi a telaio' leggeri e temporanei (società nomade) mentre il primo esempio di riparo costruito utilizzando un 'sistema a massa' è la casa-cortile mesopotamica del 2500 a.c. (società stanziale).**

**il sistema 'stereometrico' si è dimostrato in principio più solido, longevo e sicuro ed ha in qualche modo prevalso (per diffusione) sul sistema tettonico, più fragile e 'corruttibile' dagli agenti atmosferici....**



**definizione di due archetipi costruttivi**

dalla parola greca tekton (carpentiere, falegname) – che possiamo prendere come paradigmatica di un sistema discontinuo  
– ha origine il successivo termine architekton (maestro della costruzione, architetto)

paradosso: il termine ‘tettonica’ ha assunto con il tempo il significato generale di ‘costruzione’ e addirittura di ‘architettura’.  
se il sistema continuo ha quindi prevalso inizialmente per uso e diffusione, il termine che originariamente indicava il sistema discontinuo si è affermato fino ad assumere un significato capace di comprendere entrambi.

questa ‘contraddittorietà’ è solo apparente e riflette il fatto che il confine tra i due sistemi non è mai netto.

non è sempre possibile stabilire in modo inequivocabile l’appartenenza di una costruzione ad un sistema piuttosto che all’altro... esistono ‘paradossi’ costruttivi oltre che paradossi terminologici...

la netta distinzione tra i due archetipi è più funzionale alla comprensione che necessaria alla costruzione dell’architettura.  
il sistema costruttivo dipende in fin dei conti da quali risorse sono disponibili per l’uomo sul territorio e su quale importanza è attribuita alla durabilità di una costruzione.



la costruzione come paradosso

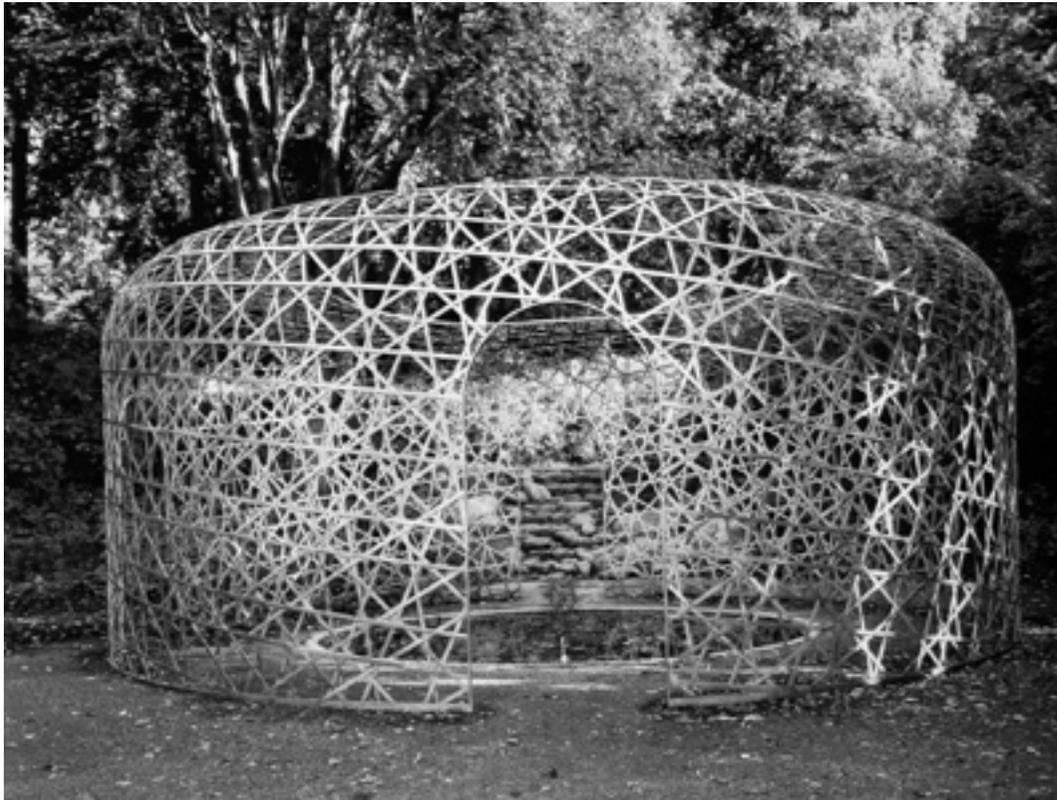
una struttura discontinua, o 'a telaio' è composta da elementi sottili assemblati a formare un'intelaiatura (traliccio) planare o tridimensionale in cui la funzione portante e la funzione di separazione spaziale sono svolte dall'insieme degli stessi distinti elementi.

Questa 'impalcatura' portante contiene molti 'vuoti', e per definire uno 'spazio architettonico' è necessario un ulteriore passaggio: chiudere questi buchi, o 'rivestire' la struttura.

tessere, annodare ed intrecciare sono i principi della costruzione 'a telaio'.

La separazione tra 'spazio interno' e 'spazio esterno' è quindi ottenuta attraverso l'impiego di elementi secondari e non attraverso la sola struttura portante.

Le bucatore sono dimensionate in modo consequenziale ai 'vuoti' consentiti dalle caratteristiche meccaniche del materiale e dalle dimensioni della maglia strutturale.



olafur eliasson, fiverfold pavilion, 2000

sistemi discontinui  
tessere, annodare ed intrecciare

le principali caratteristiche di una struttura continua, o 'a massa' sono il peso e la compattezza.

l'elemento principale è un 'muro' massiccio e tri-dimensionale costituito da strati di pietre o di elementi prefabbricati modulari, oppure ottenuto 'versando' in una forma (o matrice) un materiale che si solidifica asciugandosi.

gettare, giustapporre e stratificare sono i principi della costruzione 'a massa'.

la seconda azione rimanda all'equivalente teorico della costruzione continua, la stereotomia, l'arte di tagliare le pietre in forme di misura equivalente e di giustapporre in modo tale che la loro semplice risposta alla forza di gravità garantisca la stabilità dell'intero edificio. questo tipo di costruzione sopporta infatti solo forze 'di compressione' e non – a differenza di quanto avviene per i sistemi discontinui – forze di 'trazione'.

Nei sistemi 'a massa' la costruzione di un muro definisce immediatamente uno 'spazio interno' perchè la funzione portante e la funzione di separazione coincidono.

le dimensioni delle bucaure sono generalmente ridotte, poichè ogni interruzione della struttura la indebolisce.



arata isozaki -yoko ono, lapponia, 2004

sistemi continui  
gettare, giustapporre stratificare

**C 02 | il recinto**  
**tecniche costruttive: modulare, gettata, prefabbricata**

la muratura è 'una struttura che rimane visibile in superficie e che lavora attraverso la propria superficie'  
Werner Lindner, Friedrich Tamms: Masonry, Berlin, 1937



carlo scarpa, verona, 1958-74

la muratura

**in termini culturali la muratura rappresenta un valore costante: nel corso del tempo il suo significato e la sua funzione non sono mutati.**

**il principio è unico, le costruzioni architettoniche che ne derivano sono infinite.**

**per la sua solidità e stabilità rappresenta valori di sicurezza, durabilità e continuità, semplicità e disciplina, in una parola 'tradizione'.**

**è inoltre una tecnica comune a tutte le culture ed in continua evoluzione in modo corrispondente al progresso della tecnica.**

**la caratteristica fondamentale della muratura è quella di 'essere a vista', di mostrare cioè di cosa è fatta: le sue unità murarie, di colore, grana e tono sempre diversi, ed il materiale legante, visibile come fuga, che le tiene insieme.**

**le unità murarie sono il primo elemento standardizzato della costruzione, e sono parte sostanziale dell'intero edificio. la piccola dimensione (assumendo 25x12x6.5 come standard) consente agilità nel processo di costruzione e grande libertà nella realizzazione delle più diverse forme architettoniche.**

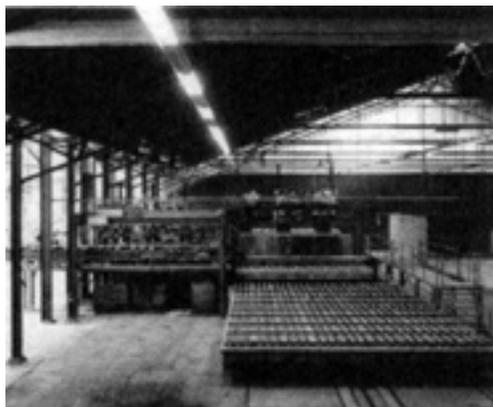
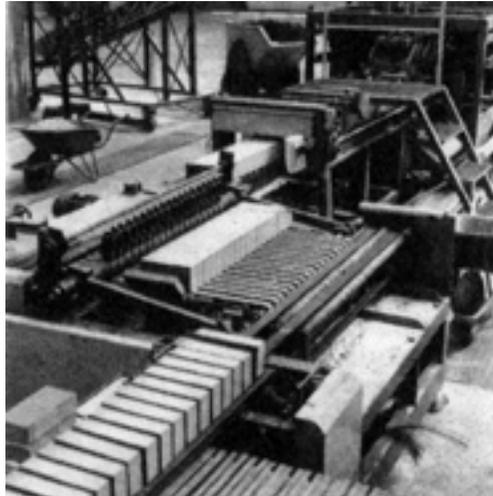
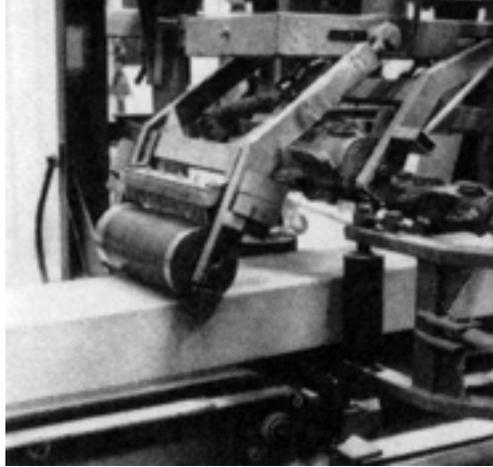


**pietra:**  
disponibile un'ampia gamma di qualità e proprietà, esse non dipendono solo dal tipo di pietra e dal luogo d'origine, ma perfino dalla posizione all'interno della stessa cava di estrazione.

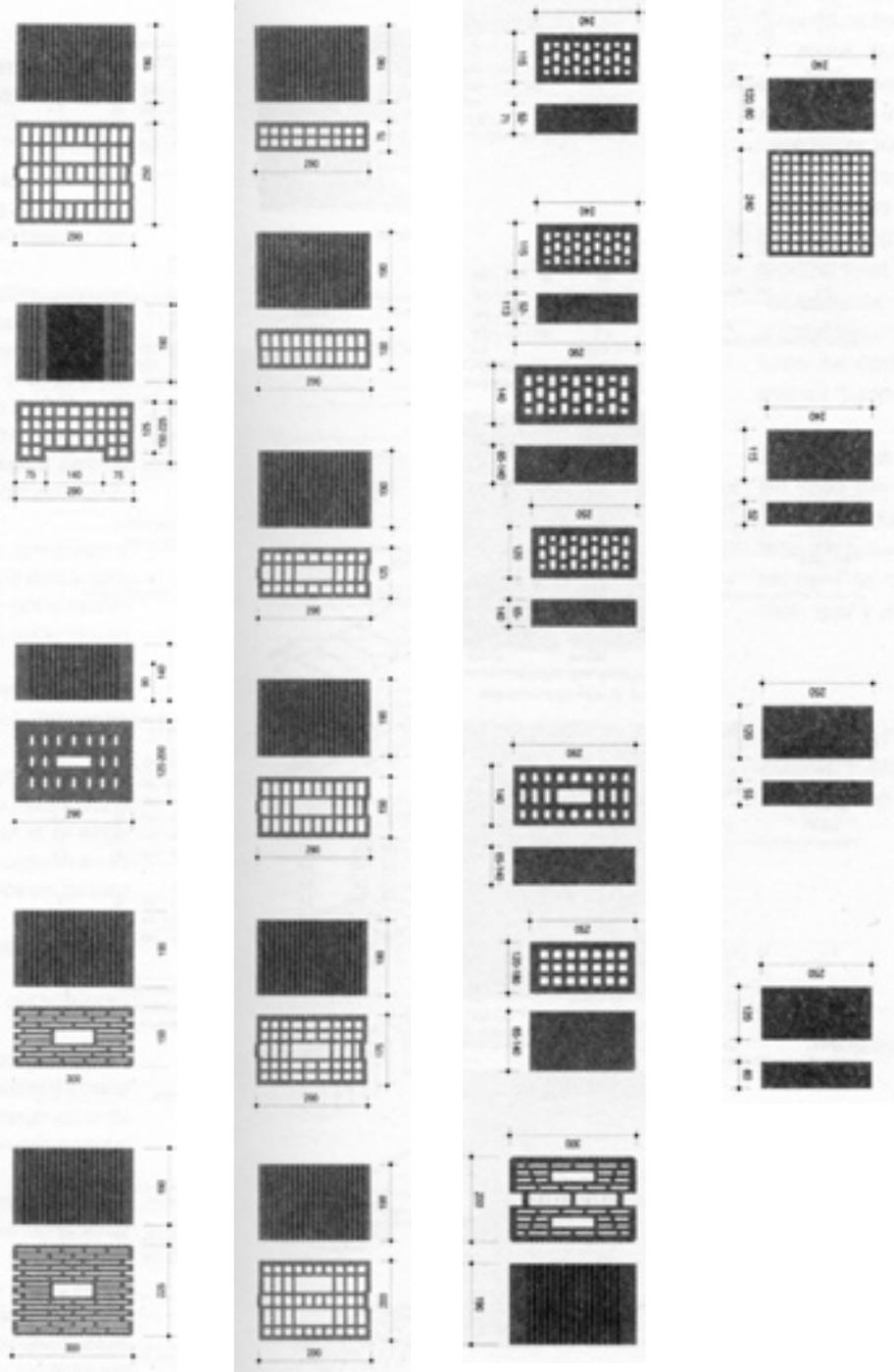
**creta:**  
i 'laterizi' sono disponibili in una grande varietà di forme. i materiali grezzi per la loro produzione sono le argille e le crete, le proprietà variano a seconda della composizione e si riflettono nel colore e nella struttura del prodotto finito. dopo essere stata estratta l'argilla viene mescolata e frantumata. sottoposta all'azione di acqua e del vapore assume poi una consistenza plastica che ne permette l'estrusione a formare un nastro con sezione appropriata (piena o vuota). il nastro viene tagliato blocchi che vengono prima lasciati asciugare e poi cotti a circa 1000°C, temperatura che produce una sinterizzazione della grana e la conseguente solidificazione. il colore può variare, a secondo della composizione, dal giallo (dovuto alla calce) al rosso scuro (per il ferro ossidato contenuto) i mattoni a vista sono prodotti per essere utilizzati in muratura destinata a rimanere 'esposta'. è possibile trovare mattoni a vista con 3 lati 'buoni' (due teste ed un fianco), lati cioè che possono essere esposti agli agenti atmosferici.

**silicato di calcio:**  
unità prodotte da polvere di calce e quarzo e solidificate in autoclave. rispetto ai laterizi ottenuti tramite cottura presentano un'eccellente precisione dimensionale e sono ideali per l'impiego 'a vista'. il loro colore standard è il grigio, ma possono essere prodotti in un grande assortimento di colori.

**cemento:**  
sono fatti di cemento e sabbia e presentano una grande resistenza. sopportano molto meglio all'acqua aggressiva di quanto facciano i mattoni in silicato di calcio e sono principalmente utilizzati nell'ingegneria civile.



i materiali



la standardizzazione

i componenti della muratura sono le unità murarie (mattoni) ed il legante (malta)

generalmente lo spessore del muro corrisponde alla larghezza dell'unità muraria (muro a metà mattone) o alla sua lunghezza (muro ad un mattone).

la posa longitudinale rispetto al fianco oppure alla testa da origine a due spessori murari diversi, ma questo è solamnte il primo passo...

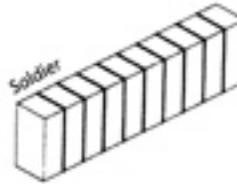
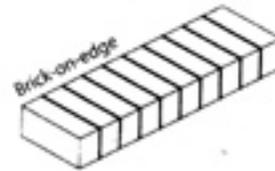
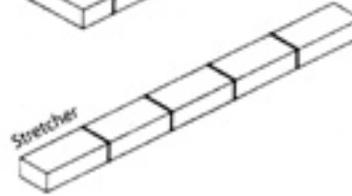
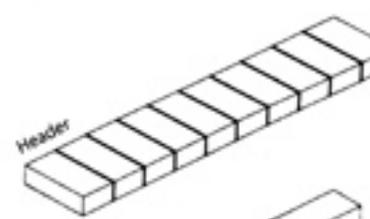
le dimensioni del muro sono spesso superiori a quelle della singola unità muraria ed esiste una grande varietà di modi in cui posare, o giustapporre, le unità per ottenere le dimensioni desiderate.

la posa caratterizza quindi fortemente la costruzione in muratura ed è determinante per la solidità della costruzione stessa.

Il rapporto tra larghezza e lunghezza dell'unità muraria permette diversi tipi di posa, pertanto, generalmente, la lunghezza di un mattone standard è doppia della sua larghezza.

la tipica posa nella quale ogni fila di mattoni è sfalsata rispetto alla precedente ed alla successiva garantisce la maggior coesione tra le unità murarie.

il muro semplice, generalmente utilizzato per realizzare le partizioni interne, è composto da un solo strato di unità murarie, mentre i muri che confinano con l'esterno sono di solito costituiti da un doppio strato (o doppia fodera) che può ospitare un'intercapedine isolante.



la posa

gli strati di legante che tengono insieme le diverse unità murarie si distinguono in 'orizzontali' e 'verticali'.

da un punto di vista strutturale i verticali sono meno significativi perchè non contribuiscono alla resistenza del muro alla compressione.

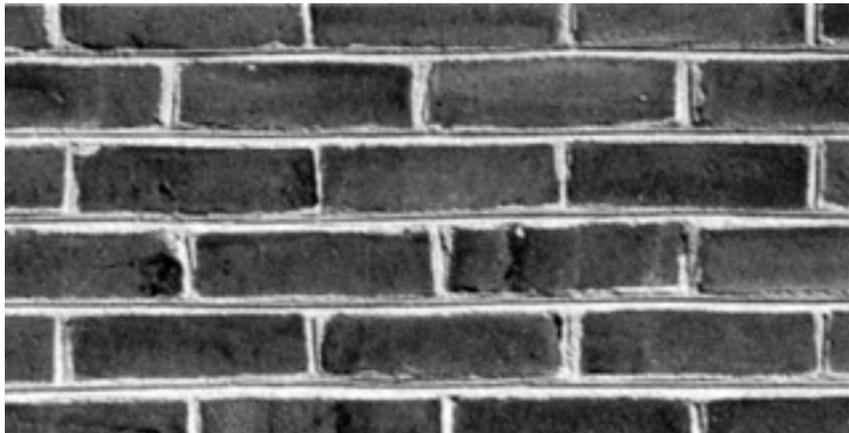
gli strati orizzontali sono quelli più critici: essi lavorano a compressione, sono necessari per legare e livellare i 'filari' di unità murarie, ma allo stesso tempo separano un mattone dall'altro e 'indeboliscono' il muro da un punto di vista statico e sono generalmente tenuti il più sottile possibile (8-12 mm).

Durante la costruzione la posa di un filare di mattoni provoca il rigonfiamento del legante su entrambi i lati del muro, in particolare negli strati orizzontali. questo materiale in eccesso è generalmente rimosso.

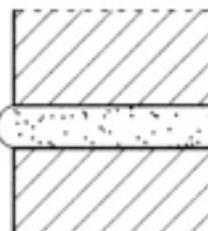
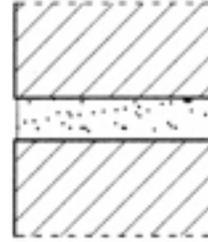
questa operazione di rimozione consente di trattare la fuga di legante in modi diversi, ottenendo l'effetto visivo desiderato.

le fughe verticali sono cruciali strutturalmente solamente nel caso di particolari requisiti di resistenza a forze sismiche, oppure nel caso in cui si voglia ottenere un buon isolamento acustico.

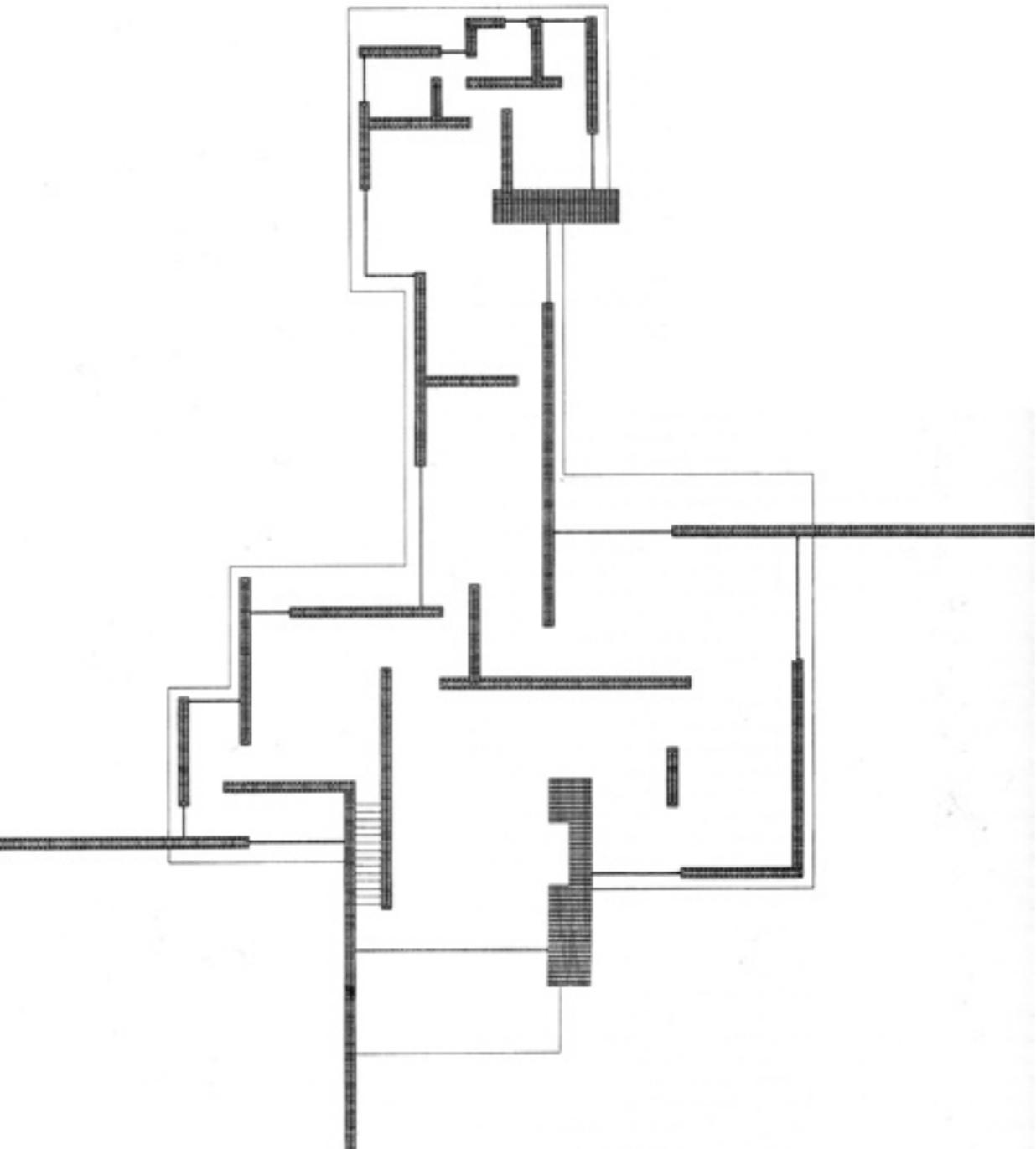
Diversamente le fughe verticali possono essere del tutto assenti, e le unità murarie giustapposte direttamente.



alvar aalto, massachusetts, 1954



le fughe



mies van der rohe, casa di campagna, 1923

mostrare l'invisibile

**1**  
filari orizzontali esatti di sono il  
prerequisito per una buona posa

**2**  
facce e teste si devono alternare  
regolarmente nel prospetto

**3**  
ci devono essere più teste possibili  
nei filari interni (cores)

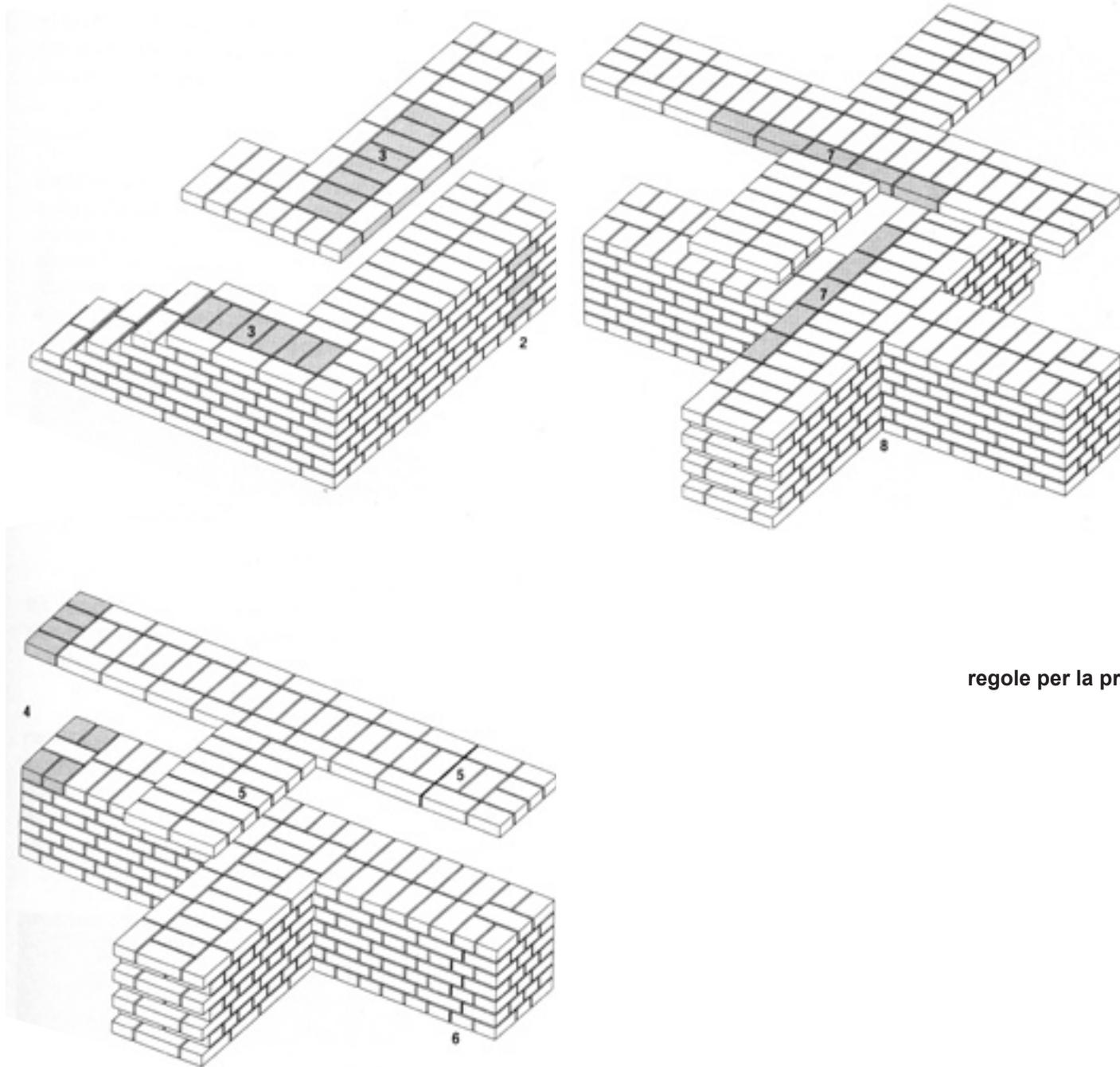
**4**  
deve esserci il maggior numero  
di unità intere possibili, con tagli  
solo negli angoli o nelle estremità  
del muro per evitare fughe verticali  
continue

**5**  
le fughe verticali dovrebbero  
correre il più possibile ininterrotte  
attraverso lo spessore del muro

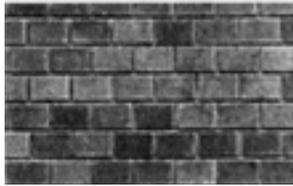
**6**  
i giunti verticali di due filari  
successivi devono essere sfalsati  
di  $\frac{1}{4}$  o di  $\frac{1}{2}$  della lunghezza del  
mattoncino

**7**  
agli incroci ed alle intersezioni i filari  
disposti per il lungo devono correre  
il più possibile ininterrotti, mentre i  
filari di testa possono formare una  
fuga dritta

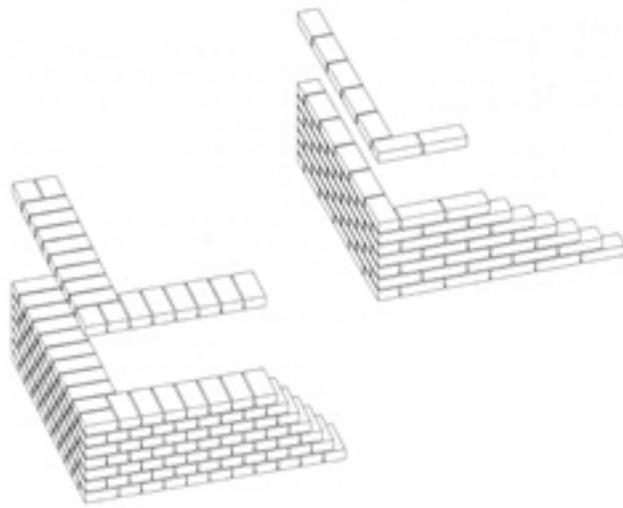
**8**  
negli angoli interni le fughe verticali  
in filari successivi devono essere  
sfalsate



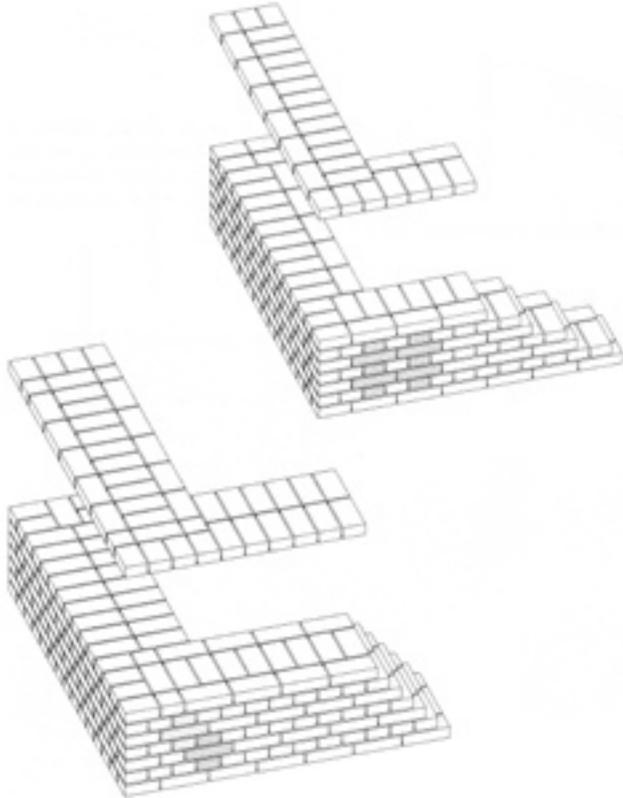
regole per la progettazione



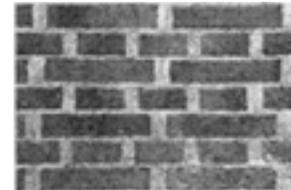
**filari di testa**



**filari per il lungo**



**english cross bond**

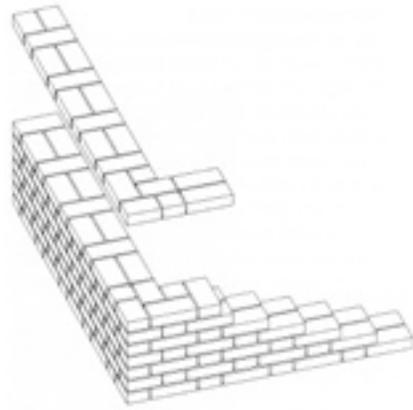


**english bond**

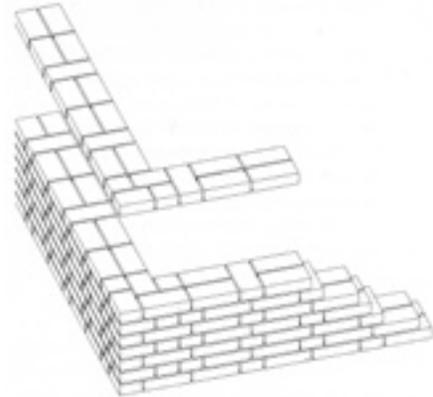
**le tipologie di posa**



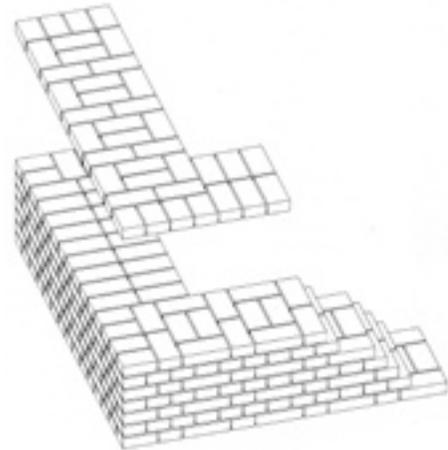
**flemish bond**



**monk bond**



**dutch bond**





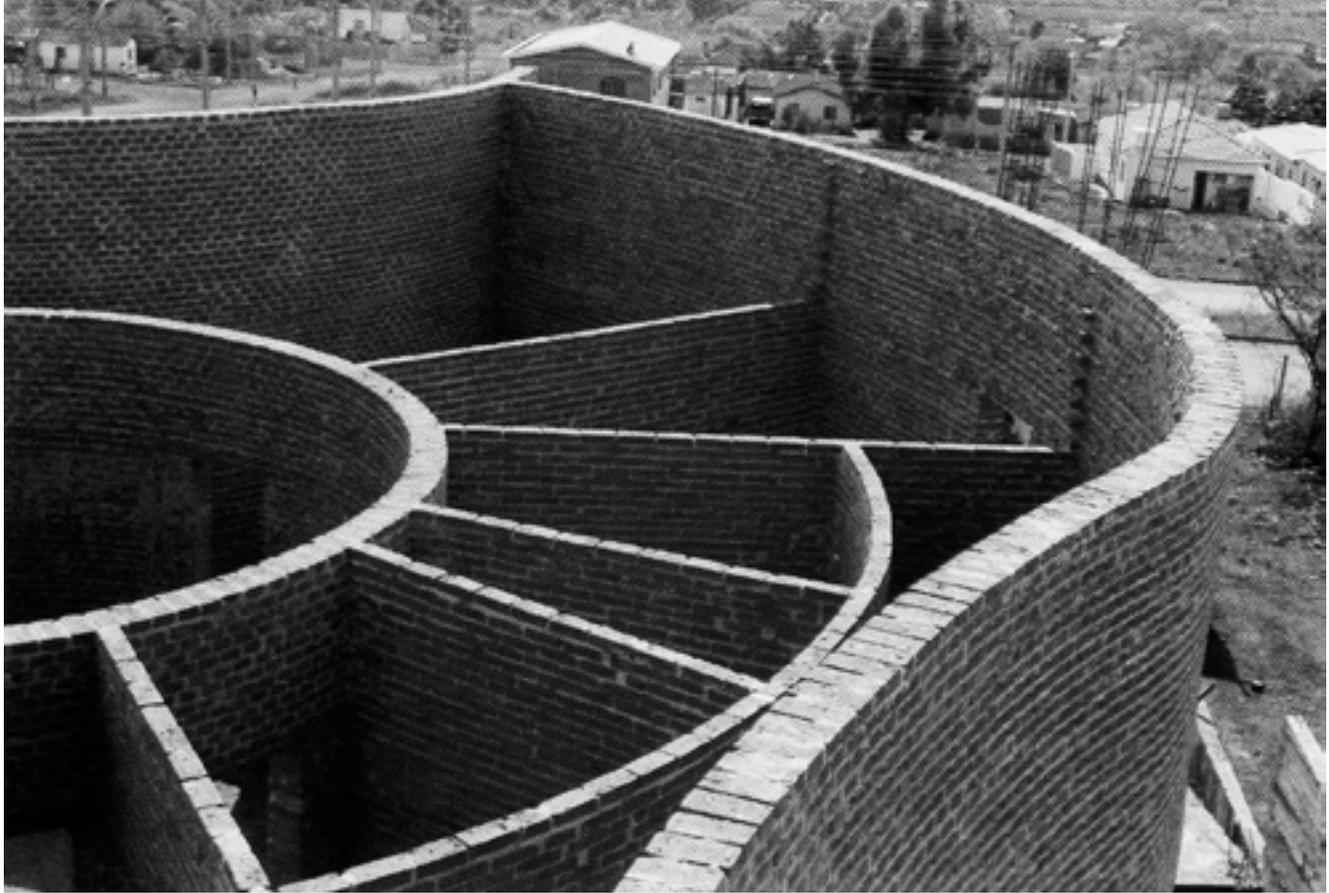
alvar aalto, muratsalo, 1954

formati, colori e grana



sigurd lewerentz, klippan, 1966

la tessitura del muro



lina bo bardi, minas geraes, 1982

la muratura plastica



**michel de klerk, amsterdam, 1913-1920**

**la muratura scolpita**



francois roche, parigi, 1993

paradosso a vista

**'la bellezza è lo splendore della verità'  
ludwig mies van der rohe**



**le corbusier, la tourette, 1953**

**il calcestruzzo**

le strutture portanti in calcestruzzo armato fanno parte della vita di tutti i giorni all'interno di ogni centro urbano. Il calcestruzzo è relativamente economico ed è di fatto il materiale da costruzione per antonomasia del ventesimo secolo.  
il cementificarsi dell'ambiente è generalmente percepito come distruzione del paesaggio e della natura e meno visibile è, più volentieri il calcestruzzo viene accettato.

la situazione è molto diversa quando il calcestruzzo armato è deliberatamente progettato per essere lasciato 'a vista'.  
per comprendere il carattere del calcestruzzo a vista dobbiamo allontanarci dall'approccio pragmatico tipico delle speculazioni edilizie contemporanee.

nel calcestruzzo lasciato a vista, ciò che è visibile è la superficie.  
questa osservazione banale acquista significato quando ripensiamo a quanto detto per le costruzioni in muratura.  
la muratura a vista mostra la propria essenza interamente, mostra le unità murarie ed il legante, mostra il proprio ordine e la propria logica.

al contrario, nel calcestruzzo a vista uno strato superficiale di pochi millimetri nasconde la natura composita presente all'interno del materiale.

il lavoro che avviene all'interno della materia non è mostrato, ma occultato sotto un esile pelle...

poiché la nostra idea e la nostra percezione del materiale si ferma alla superficie, il calcestruzzo non viene vissuto come un materiale naturale (quale di fatto è) ma come un conglomerato artificiale e contaminato.



la superficie

nessun 'segno della progettazione' riesce quindi, dal profondo del conglomerato cementizio, a penetrare il sottile strato superficiale per poi mostrarsi a noi.

Eppure questa superficie non è completamente muta, ma mostra una tessitura, la traccia e la memoria di una struttura che non esiste più, le casseformi in cui il calcestruzzo è versato.

Il termine 'tessitura' richiama immediatamente le azioni umane proprie di quello che abbiamo chiamato 'sistema a telaio'.

Le casseformi, di legno o d'acciaio, appartengono a questa categoria di tettonica e, soprattutto in passato, presupponevano un articolato lavoro di carpenteria.

Calcestruzzo e casseforme costituiscono dunque un 'pacchetto' inseparabile: paradossalmente una struttura effimera e corruttibile viene costruita per generarne un'altra, monolitica e solidissima.

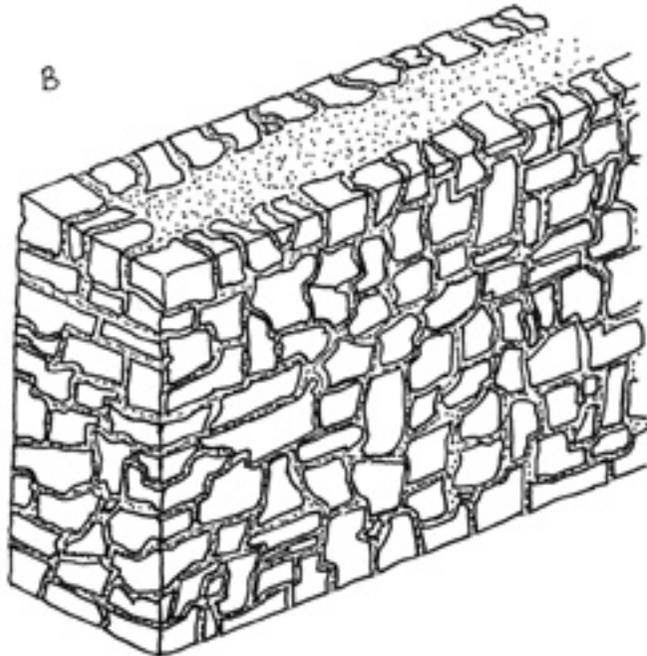


tessitura e memoria

i costruttori romani cercarono di contrastare questa metamorfosi paradossale mostrando la struttura intrinseca del calcestruzzo e nascondendone il suo componente reale.

l'informe miscuglio di ghiaia, sabbia e cemento, il cosiddetto 'opus incertum' è composto da un cassero perenne in pietra e da un materiale di riempimento interno senza forma.

essendo materiale contenuto e materiale che contiene identici (ma diversi solo per la grana, la dimensione) si tratta di una delle più originali e durature creazioni appartenenti alla categoria di 'earthworks'.



opus incertum

**l'altra linea di sviluppo, la strategia della 'costruzione delle casseformi' passava attraverso il legno ed la carpenteria, e quindi attraverso la tettonica, con i suoi principi costruttivi e con la conseguente influenza sul processo - finalizzato all'ottenimento di una forma – di 'versare' il cemento.**

**ancora di più: il legno ha un carattere transitorio e provvisorio che lo fa sembrare 'predestinato' ad essere utilizzato come cassero. il semplice atto di riempire le casseformi con il cemento offre al legno la possibilità di manifestarsi in modo perpetuo come impronta, sebbene il calcestruzzo non abbia nulla a che fare con il legno e sia un materiale tutt'altro che effimero.**

**l'aspetto monolitico del calcestruzzo a vista fa sembrare infatti un edificio come una scultura, una 'manufatto' ottenuto attraverso la rimozione di materiale da un blocco iniziale.**

**In realtà questo carattere è il risultato di diverse operazioni di sovrapposizione.**

**La qualità, il materiale, e la progettazione della disposizione delle casseformi gioca un ruolo fondamentale nella formazione del carattere di un edificio.**



**monoliticità**

**pur partendo da valutazioni di carattere pragmatico sul processo di lavorazione del materiale, arriviamo ad un risultato inaspettato complesso.**

**l'edificio come una costruzione pesante e monolitica rappresenta uno dei due poli dialettici e rimanda alla caratteristica appartenenza alla terra dei 'sistemi continui', alla massa, alla plasticità, alla densità ed alla pressione.**

**al contrario l'altro polo dialettico deve derivare dal principio dei 'sistemi discontinui'.**

**la combinazione di calcestruzzo e acciaio da origine ad un unico materiale ibrido, nel quale il cemento sopporta le forze di compressione e l'acciaio quelle di tensione.**

**il calcestruzzo armato è l'unico materiale che possiede questa perfetta qualità bi-polare.**

**le due componenti morfologiche esistono e si complementano a vicenda a diversi livelli di 'consapevolezza' stabilendo un'interazione costante tra una parte percepibile in modo conscio ed una subconscia, e vice versa.**

**diverso è il caso per esempio delle strutture in acciaio nelle quali è lo stesso, unico, elemento a sopportare sia le forze di compressione che quelle di tensione.**

**la forma esterna del calcestruzzo indurito è percepibile fisicamente ed oscura completamente la caratteristica inerzia della sua consistenza originaria, il suo essere cioè 'pulp'.**

**la sua maglia 'cartesiana' di irrigidimento giace invisibile e 'dormiente' all'interno e manifesta la propria esistenza all'esterno solo indirettamente.**

**la presenza di questo 'telaio' discontinuo può essere intuita solo nel caso di strutture portanti 'delicate' ed 'esili' in cemento armato. in questo caso lo stesso materiale e la medesima tecnica costruttiva danno origine ad elementi lineari (travi e pilastri) prefabbricati che vengono impiegati nella costruzione di strutture 'discontinue'.**

**il monolito solido e pesante perde qui la sua natura legata alla terra e si trasforma nel proprio opposto, un telaio tridimensionale composto da elementi lineari.**



**ibridazione**

il cemento, essendo una sorta di 'magma', non possiede alcuna conformazione implicita e può essere plasmato in qualsiasi forma. allo stesso modo la maglia di acciaio da disporre al suo interno non sembra porre alcun limite predefinito.

questo implica la possibilità di una 'lavorabilità' libera e 'biomorfica' del calcestruzzo armato, non diversamente da quanto avviene quando modelliamo un pezzo di creta con la mano.

In realtà è la natura 'tettonica' delle casseformi a limitare le possibili conformazioni del calcestruzzo armato.

questo è reso possibile oggi dall'impiego di nuove tecnologie come il legno compensato preformato, oppure le fibre sintetiche, ma si tratta di soluzioni difficili da giustificare economicamente.

un esempio paradigmatico è la 'Einstein Tower' di Erich Mendelsohn a Potsdam del 1914: pensato e progettato in calcestruzzo armato, l'edificio fu poi effettivamente realizzato in muratura.

l'unica via d'uscita sembrerebbe quella di liberare il calcestruzzo dalla propria dipendenza dalla casseforme, e questo è possibile oggi relizzando un'armatura abbastanza stabile sulla quale poter 'spruzzare' il cemento.

Finora questa tecnologia non ha lasciato tracce rilevanti nella produzione architettonica.



Erich Mendelsohn, Potsdam, 1914

il calcestruzzo liberato

il calcestruzzo di peso normale (2400-2550 kg/mc) è generalmente ottenuto mescolando cemento, acqua, aggregati fini e grossolani (rispettivamente sabbia e ghiaia).

le quantità approssimative tra i diversi componenti (aggregati 2000 kg/mc; cemento 250-400 kg/mc; acqua 150 kg/mc) possono essere variate durante la lavorazione.

il calcestruzzo umido dovrebbe mostrare le seguenti proprietà:

- malleabilità e buona compattezza
- plasticità ed agevole modellabilità
- buona coesione e tendenza ridotta a separarsi
- buon assorbimento d'acqua

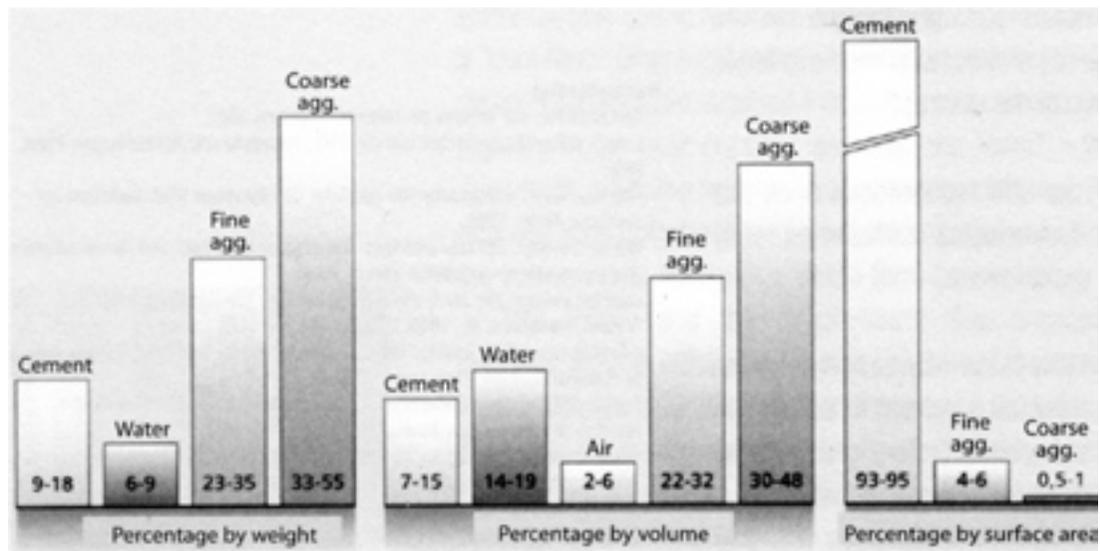
il calcestruzzo indurito dovrebbe invece presentare:

- buona solidità
- omogeneità, microstruttura densa e consistente
- superficie uniforme senza cavità dovute a bolle
- resistenza agli agenti atmosferici

#### composizione

in termini di peso e volume il calcestruzzo è principalmente fatto di aggregati, ma se consideriamo la 'superficie interna', cioè la somma delle superfici dei materiali che lo costituiscono, il cemento è di gran lunga il materiale più presente.

per la sua capacità di reagire all'acqua il cemento è l'unico elemento che permette al calcestruzzo di stabilizzarsi.



proprietà e composizione

il cemento è un legante 'idraulico', cioè una sostanza che, mischiata con l'acqua si stabilizza.

le fasi di produzione del cemento sono: • estrazione del materiale grezzo in blocchi di piccola dimensione, • frantumazione e riduzione del materiale in polvere, • cottura della materia prima e formazione di 'clinker', • macina di clinker con calcare o simili e formazione di cemento

gli aggregati sono una miscela di sabbia (fine) e ghiaia (grossolana) che forma la struttura del calcestruzzo e che deve essere assemblata con i minori 'vuoti' possibili.

un buon aggregato presenta vari vantaggi per il cemento che lo circonda e lo lega idratandosi: • maggiore solidità, • migliore durabilità, • stabilità di volume se sottoposto ad umidità, • assorbimento del calore durante l'idratazione

le proprietà più importanti dell'aggregato sono: • densità, • umidità contenuta, • qualità della pietra, forma della grana e caratteristiche superficiali

materiali troppo soffici e porosi riducono la qualità del cemento. la miscela, la forma della grana e le caratteristiche della superficie determinano la compattezza e le quantità di acqua da utilizzare. gli aggregati con spigoli pronunciati sono per esempio efficaci perchè migliorano la solidità complessiva alle tensioni ed del calcestruzzo, ma rendono il materiale meno malleabile poichè producono maggiore attrito.

le miscele sono sostanze che vengono aggiunte al cemento ed influiscono sulle le proprietà del calcestruzzo allo stato umido e secco attraverso i processi di reazione chimica che instaurano. • plasticizzanti - garantire maggiore lavorabilità, • inspessenti – impediscono la separazione prematura e migliorano la consistenza, • ritardanti – rendono possibile il compattamento del cemento anche molte ore dopo la posa, • acceleratori – provocano idratazione rapida e stabilizzazione più veloce, • vettori d'aria – creano micropori d'aria che migliorano la resistenza al gelo

gli additivi sono sostanze molto sottili che influenzano alcune proprietà del calcestruzzo:

• inerti – non reagiscono con il cemento e l'acqua, • attivi – reagiscono con l'acqua ed il cemento



naturale, arrotondato



angolato, cubico



naturale, allungato



angolato, allungato

cemento, aggregati, miscele ed additivi

**il calcestruzzo armato è un materiale composito formato da calcestruzzo ed acciaio.**

**il calcestruzzo resiste alle forze di compressione, la sua armatura alle forze di tensione.**

**il dimensionamento delle armature è stabilito da un'analisi strutturale che calcola tutte le forze interne in gioco.**

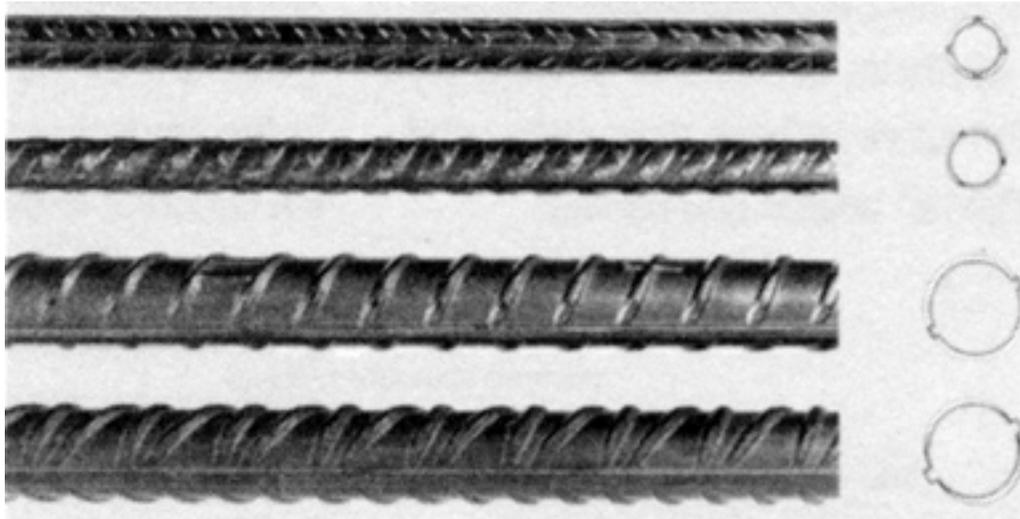
**l'armatura principale è posizionata nelle sezioni più importanti del materiale per contrastare le maggiori spinte.**

**è importante che l'armatura sia sempre adeguatamente 'ricoperta' dal calcestruzzo.**

**praticamente tutti i danni riscontrabili nel cemento armato sono attribuibili ad insufficiente copertura delle strutture, mancata stabilizzazione o inadeguata armatura.**

**se il metallo dell'armatura non è adeguatamente protetto si ossida, ed poichè i cristalli dell'ossido richiedono spazio, il calcestruzzo si crepa e si espone ad ulteriori infiltrazioni.**

**lo spessore standard minimo dello strato di calcestruzzo che deve ricoprire l'armatura è di 3 cm.**



**l'armatura**

per assumere la forma desiderata il calcestruzzo è versato in casseformi.

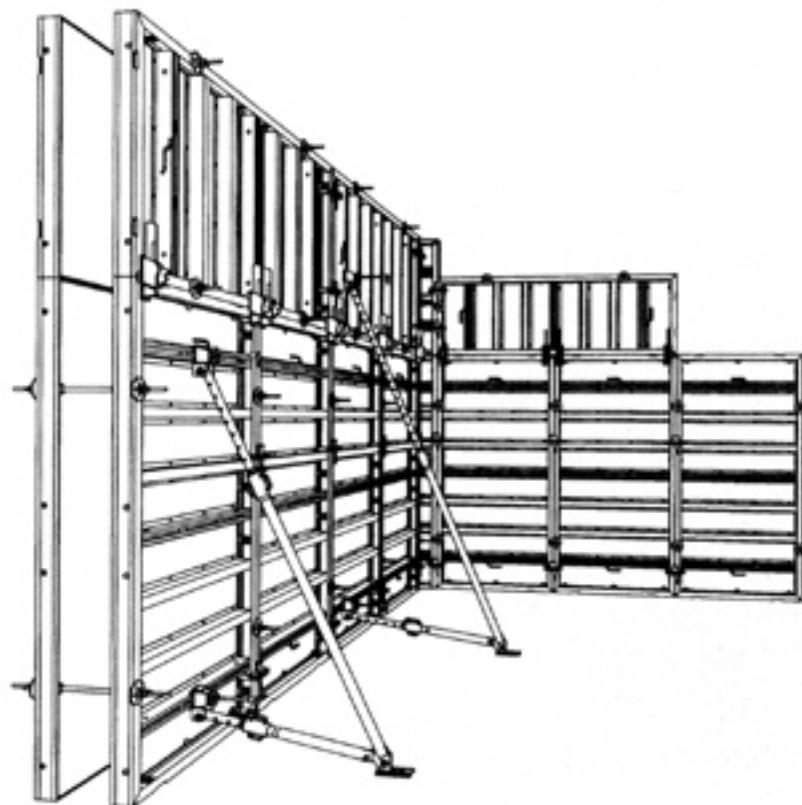
questo processo può avvenire in cantiere oppure in fabbrica (è il caso della prefabbricazione).

la costruzione delle casseformi richiede eccellenti capacità di carpenteria.

il materiale impiegato deve essere sufficientemente resistente e stabile, sostenuto ed irrigidito in modo da non subire distorsioni dovute alla pressione del calcestruzzo versato.

i giunti e le estremità devono essere sigillate con materiali appropriati, le casseformi devono essere 'a prova di perdita' per impedire all'impasto cementizio di fuoriuscire durante il processo di compattamento.

nel caso del calcestruzzo a vista la scelta del materiale e la costruzione delle casseformi giocano un ruolo determinante poichè la loro impronta è destinata a rimanere impressa in superficie.



le casseformi

### **assi**

la scelta del materiale, in genere abete o pino, presuppone un certo grado di esperienza.

assi della stessa età, della stessa densità e dallo stesso contenuto di resina si comporteranno in modo analogo.

sulle assi viene applicato generalmente olio o cera per facilitarne il successivo distacco dal calcestruzzo solidificato, e già questo trattamento mette in luce le eventuali differenze tra un'asse e l'altra.

il cemento versato in casseformi nuove presenta in genere un colore più chiaro rispetto a quello versato in casseformi di 'ri-uso'. le dimensioni delle assi dipendono dalle possibilità del legno, tuttavia la larghezza è in genere di 30cm e la lunghezza di 5-6m.

### **pannelli**

le casseformi costruite con pannelli offrono generalmente grandi vantaggi rispetto a quelle realizzate con assi. i pannelli sono più leggeri e possono essere assemblati rapidamente.

durano più a lungo perchè la resina sintetica dalla quale sono generalmente protetti si stacca più facilmente dal calcestruzzo.

i pannelli sono disponibili nelle misure più diverse, in genere le dimensioni massime dipendono più dalle condizioni del cantiere che dalle possibilità tecnologiche.

Il formato 50x200-250cm è molto diffuso.

### **casseformi modulari in acciaio**

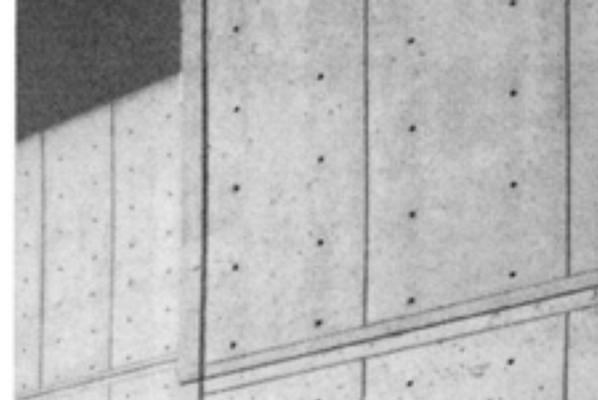
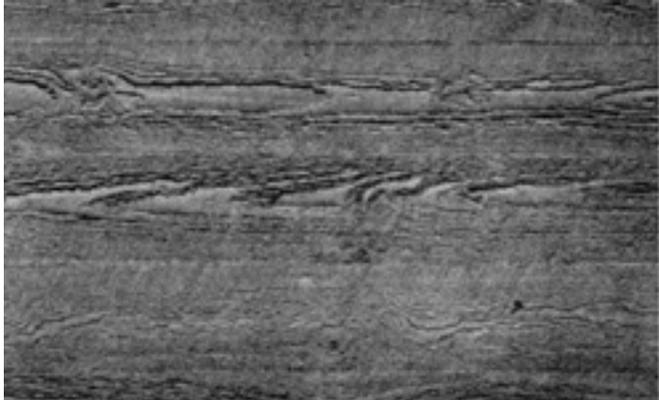
l'industria fornisce oggi un'ampia casistica di casseformi modulari che rendono possibile la realizzazione di grandi superfici e possono essere allestiti e smontati molto rapidamente.

le casseformi costituite da elementi modulari in acciaio sono usate sia in cantiere che in fabbrica nel processo di prefabbricazione.

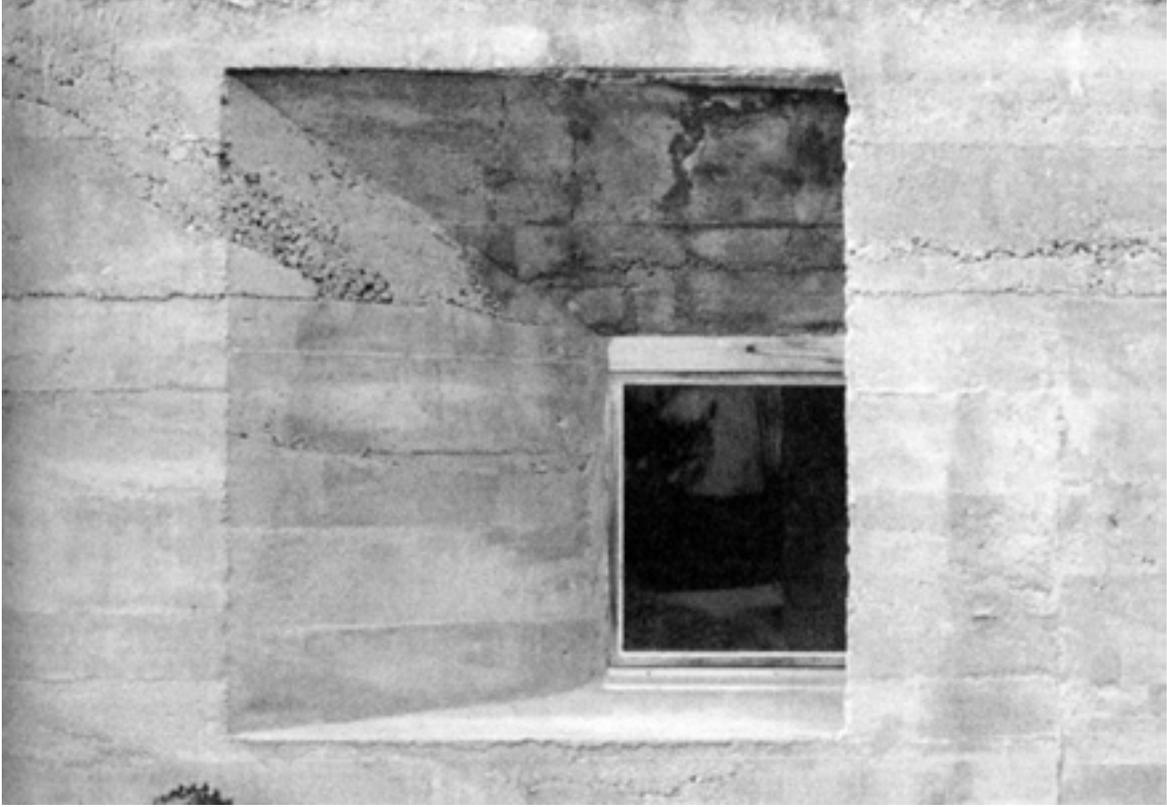
### **giunti costruttivi**

quando si getta in opera i giunti tra i diversi getti sono praticamente inevitabili. la resistenza delle casseformi limita infatti la quantità di materiale versabile, ed impone la realizzazione di 'getti' successivi. l'architetto e l'ingegnere hanno il compito di pianificare e gestire la posizione ed il numero dei giunti costruttivi con grande attenzione. la parte già solida del calcestruzzo viene umidificata, ed è anche possibile aggiungere un additivo ritardante nello strato superiore del getto precedente per mantenere la parte umida fino al getto successivo.



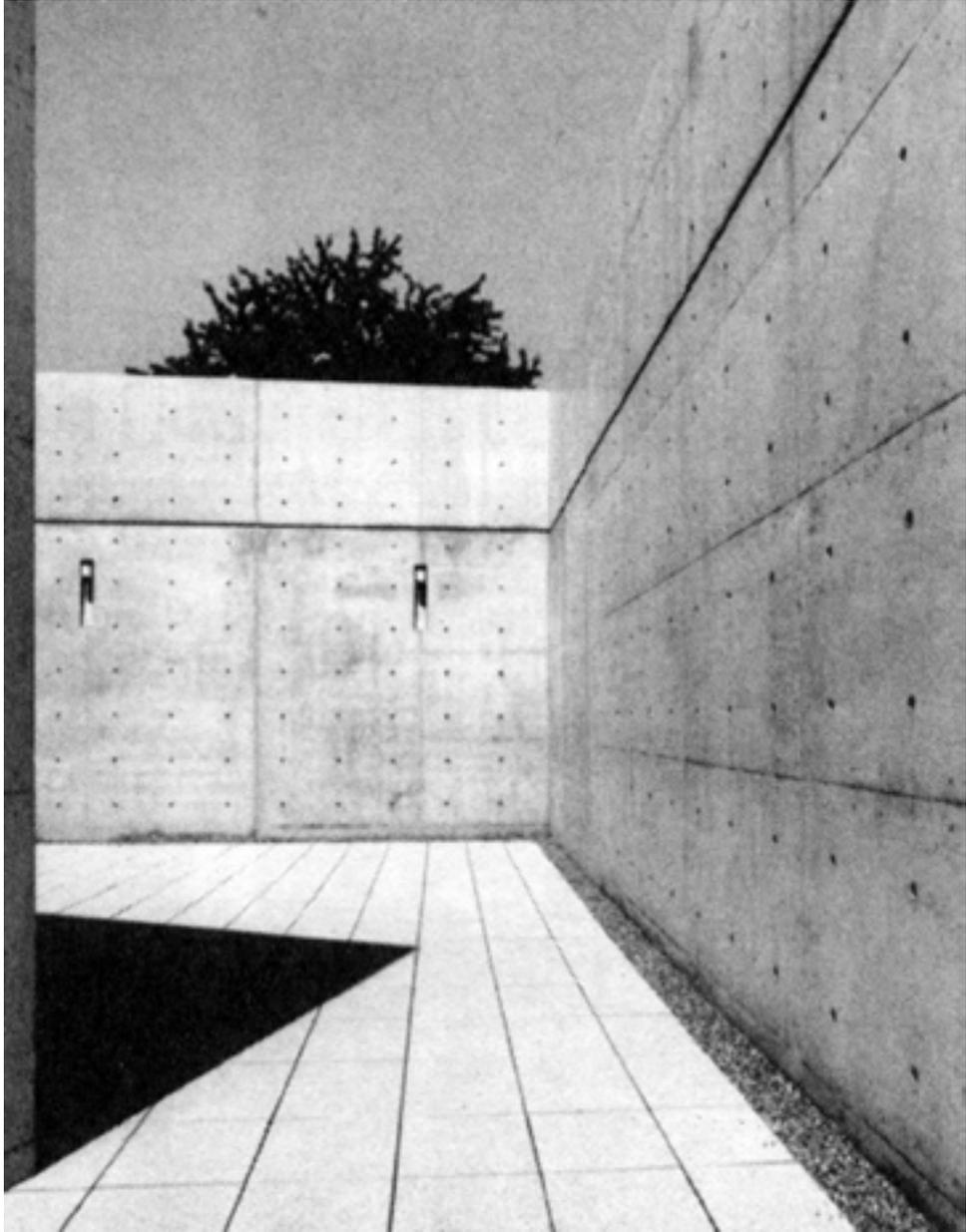


la loro memoria



rudolf olgiati, films waldhaus, 1965

la ruvidità 'a vista'



tadao ando, weil am rhein, 1993

la modularità come motivo



eero saarinen, twa terminal, new york, 1962

il calcestruzzo plastico



oma / rem koolhaas, utrecht, 1997

la continuità del calcestruzzo

'ogni cosa è interessante se osservata da vicino'  
eugenio d'ors



chiesa tradizionale in legno, norvegia

il legno

**negli ultimi dieci anni abbiamo assistito ad un grande sviluppo dei sistemi strutturali e dei prodotti semi-finiti finora considerati come processi standard nella tettonica costruzione in legno.**

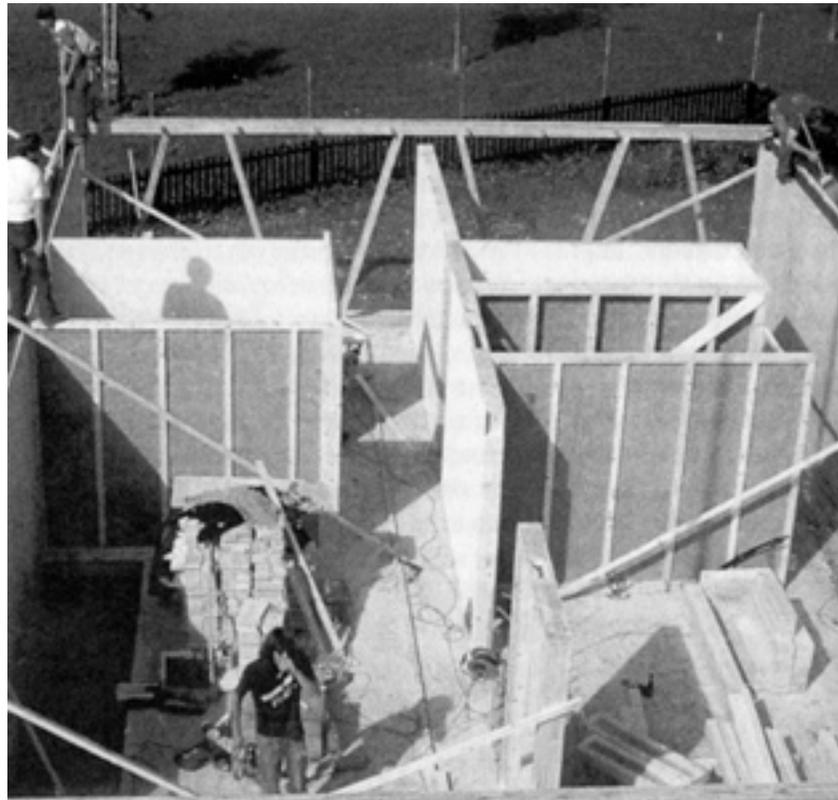
**la tradizionale costruzione a ‘telaio tamponato’ (platform frame) degli anni ‘90 che prometteva un modo di costruire senza costrizioni e svincolato da ogni modulo, sembra essere diventato già un anacronismo.**

**non è un caso che le più recenti forme di costruzione in legno siano apparse nell’europa centrale ed in scandinavia, paesi che promuovono il legno come risorsa e l’industria del legno. per la prima volta nella storia sembra esserci un’inversione di tendenza: dalla costruzione solida si sta tornando alla costruzione in legno.**

**il sistema ‘a telaio tamponato’ è un modo di costruire per certi versi ancora ‘tradizionale’: tradizionali sono le soluzioni per ‘giuntare’ gli elementi lineari a sezione quadrata per formare telai, così come il loro tamponamento con assi o pannelli che conferisce la stabilità propria degli elementi portanti. le bucatore in questo sistema rappresentano sempre interruzioni che indebolisce la struttura e che devono essere dimensionate e posizionate con grande attenzione.**

**in questo tipo di costruzione sistema tettonico e prestazione (performance) architettonica coincidono: il sistema composto da elementi lineari (verticali ed orizzontali) porta la struttura, la pannellatura interna conferisce rigidità, il rivestimento esterno protegge la struttura, all’interno della quale è contenuto l’isolamento.**

**i diversi ‘strati’ di questa struttura svolgono funzioni tra di loro complementari, ogni elemento del sistema è essenzialmente mono-funzionale.**



**complementarietà**

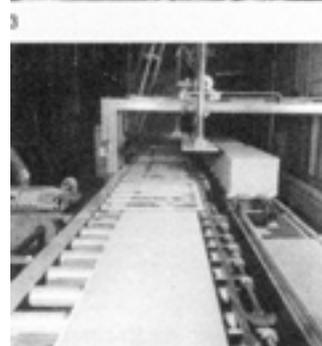
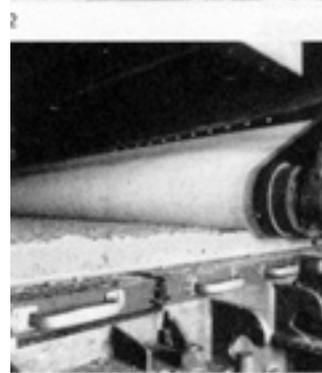
**l'affermarsi di un interesse diffuso rispetto alle nuove tecnologie di costruzione in legno sembra confermare l'interpretazione a favore di una tendenza che si allontana progressivamente da un impiego 'tettonico' del legno, (sistema a telaio – discontinuo). è possibile quindi parlare di un passaggio della costruzione in legno alla categoria dei sistemi a massa (continui). questa evoluzione sta avvenendo non senza sollevare una sorta di conflitto tra 'potenza tecnologica' e 'tradizione culturale', dove solo superando alcuni 'stereotipi' culturali è possibile apprezzare ed utilizzare la libertà compositiva che le nuove tecnologie permettono.**

**per comprendere le strutture e le forme adeguate alle nuove tecnologie dobbiamo studiare i processi di lavorazione del legno. caratteristica sembra essere una sorta di 'sequenza discendente'. innanzi tutto c'è il processo di taglio, a partire dalla materia prima, per ottenere travi, assi e pannelli da impiegare in lavorazioni di tipo tradizionale.**

**vi è poi il processo di incollaggio da cui si ottengono prodotti semi-lavorati che permettono tagli più precisi e sezioni più sottili. si ottengono così listelli, strisce e strati che, attraverso ulteriori procedimenti formano pannelli 'compensati', 'multistrato' o 'strutturali'.**

**gli scarti ottenuti da questo processo sono poi tagliati in porzioni ancora più sottili per formare 'impiallacciate' o 'schegge'. infine gli scarti ottenuti sotto forma di 'polvere' vengono mescolati in una pasta fibrosa che, pressata e lavorata, origina pannelli di 'fibre a media densità' (mdf).**

**ciascuno di questi passaggi è l'antitesi dell'assemblaggio, della ri-composizione tipica della tecnica tradizionale e, al contrario, consente di 'plasmare' e modellare il legno in modo virtualmente senza resistenza.**



**in cerca di strutture adeguate**

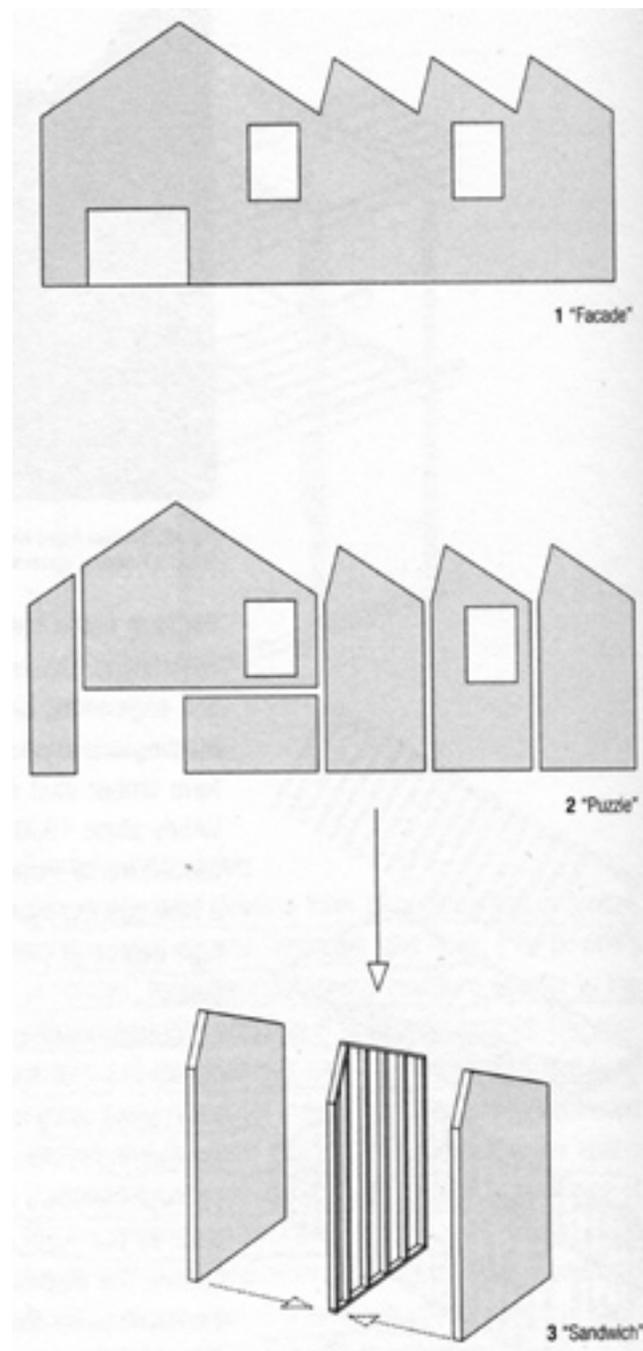
il disegno computerizzato ed i processi di taglio meccanico del materiale semi-lavorato consentono un modo 'nuovo' di concepire la costruzione in legno.

si tratta di una 'tettonica a lastre' nella quale la costruzione è articolata in un sistema di piani portanti orizzontali e verticali simili a quanto tradizionalmente riscontrato nei sistemi continui, ma con il vantaggio di materiali ancora più solidi e dallo spessore sempre più ridotto.

l'elemento fondamentale della moderna costruzione in legno non è dunque più il 'bastone' lineare, ma la 'lastra' composta da più strati incollati con fibre adiacenti ruotate di 90 gradi.

le lastre così formate acquistano una grande stabilità, possono essere impiegate come elementi portanti e sono disponibili in dimensioni anche molto grandi. non esiste un vero limite dimensionale, il vincolo è rappresentato dalle dimensioni dei macchinari e dalla trasportabilità dei prodotti finiti.

la lastra così ottenuta è 'isotropica', indifferente cioè alla direzione, in teoria sarebbe possibile produrre una striscia infinita. in questa 'tettonica a lastre' il materiale funziona non diversamente da quanto avviene nelle scatole di cartone, e questo consente al progettista di concepire dei modelli in scala che sono l'esatta prefigurazione di quanto avverrà nella costruzione vera e propria. le aperture possono essere ritagliate in queste lastre in modo indifferente, proprio come se si operasse con un taglierino su di un cartoncino vegetale.

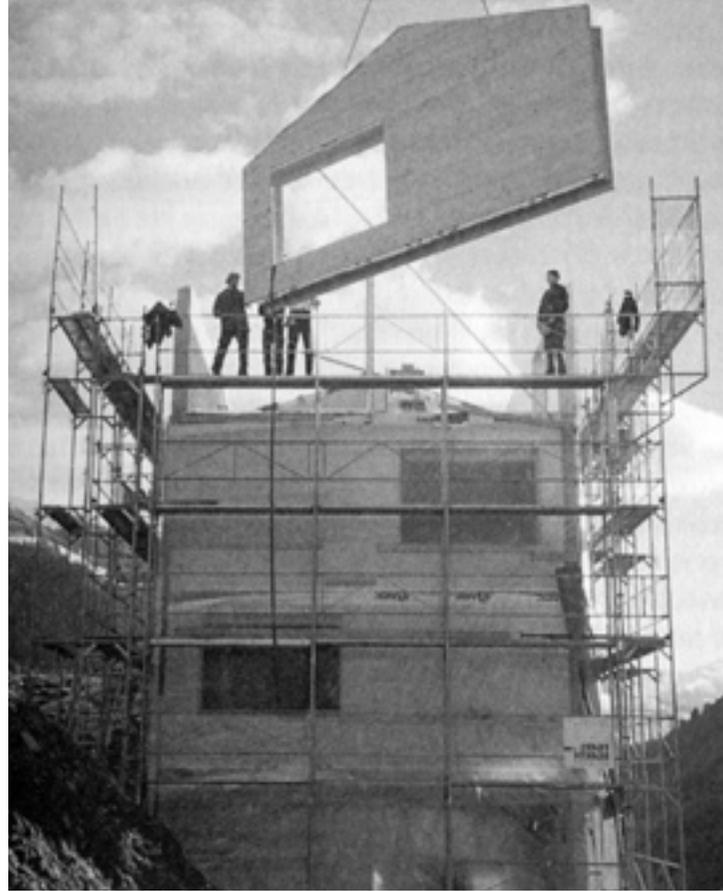


una tettonica 'a lastre'

se continuiamo a seguire questo modello di 'tettonica a lastre' scopriamo quanto la nuova tecnica allontani il legno dai suoi tradizionali 'paragoni' (o predecessori). innanzi tutto esiste una grande varietà di materiali 'non-lignei' disponibili per rivestire esternamente un edificio costruito in questo modo: l'edificio in legno 'contemporaneo' è sempre più spesso nascosto dietro a materiali 'altri' (più leggeri, più sottili ed incorruttibili).

Inoltre la 'tettonica a lastre' utilizza sempre di più il legno per le sue qualità 'strutturali' e sempre meno per le sue caratteristiche 'materiche'.

le conseguenze architettoniche di questo modo di costruire ben descritto dalla metafora del cartoncino cambieranno la nostra percezione di un materiale, il legno, sempre meno naturale e sempre più 'sintetico' perchè utilizzato in un modo, non diverso da quello tradizionalmente proprio del calcestruzzo armato, che, da un punto di vista strutturale, risolve completamente la 'tettonica' dell'edificio senza che il materiale abbia bisogno di esprimere all'esterno la propria natura intrinseca.



un materiale sintetico

la porosità del legno è una conseguenza delle 'celle' e dei 'vasi' che forniscono all'albero l'acqua e gli altri nutrienti.

gli alberi decidui presentano tre diversi tipi di celle mentre le conifere ne hanno uno solo, e questo rende il legno derivato dalle seconde molto più elastico.

al centro del tronco troviamo il midollo, la parte più vecchia, che è generalmente secca e non contribuisce al nutrimento della pianta. mentre in alcune speci di alberi il colore è uniforme, in altre esso varia attraverso la sezione; la parte più interna è scura, mentre l'alburno circostante è più chiaro.

il cuore del tronco è più stabile, mentre l'esterno, ancora vivo, è umido e malleabile.

le principali proprietà fisiche del legno dipendono dalla sua densità, che dipende dall'umidità contenuta.

per la sua struttura di pori e venature sottili il legno ha buone proprietà isolanti.

infine il legno sopporta molto bene le forze sia di compressione che di tensione nel verso parallelo alle proprie fibre, mentre mal sopporta le forze ad esse perpendicolari.

vzvzv

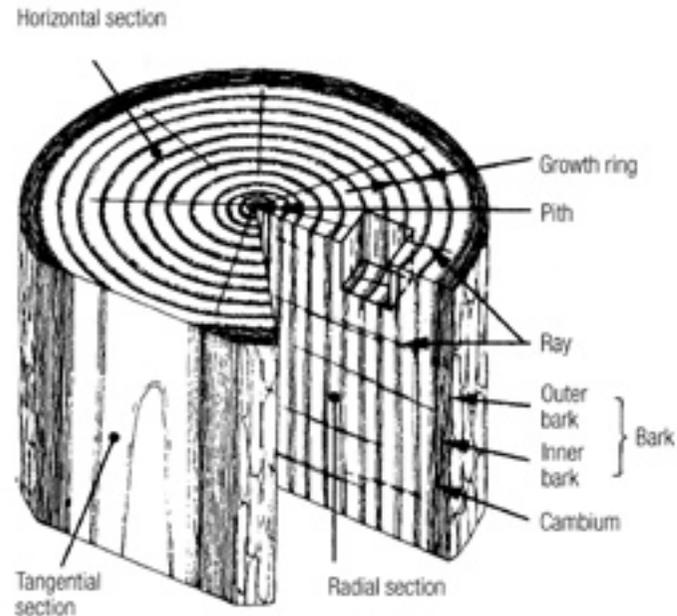


Fig. 6: Section through tree trunk

la struttura del legno

il legno è costituito: per il 40-50% da cellulosa (responsabile della resistenza a trazione), per il 20-30% da emicellulosa, riempimenti e propoli (che aumentano la resistenza a compressione) e per un altro 20-30% da urea e lignina (che contribuiscono alla resistenza a compressione).

altri componenti sono le resine, i grassi e le cere, i pigmenti, le proteine, i carboidrati ed i sali minerali, che determinano il colore e l'odore del legno e contribuiscono alla resistenza alle forze.

il legno morbido deriva da alberi a crescita veloce, quello duro da alberi a crescita lenta.

esistono circa 40 000 speci di alberi, circa 600 di queste sono disponibili commercialmente sotto forma di legno e prodotti derivati.

per la sua natura idroscopica, l'umidità contenuta nel legno cambia in base al livello di umidità presente nell'aria.

se l'umidità viene assorbita il legno si gonfia, se viene ceduta il legno si restringe.

generalmente il legno che si utilizza in architettura dovrebbe essere asciutto, poichè un alto livello di umidità ne riduce la solidità, ne influenza la precisione dimensionale, la stabilità della forma e lo espone all'attacco di insetti ed alla formazione di funghi.

gli elementi ricavati dalla sezione trasversale dei tronchi tendono a distorcersi nel processo di asciugatura come conseguenza dei diversi gradi di umidità presenti nel cuore o negli strati più esterni.

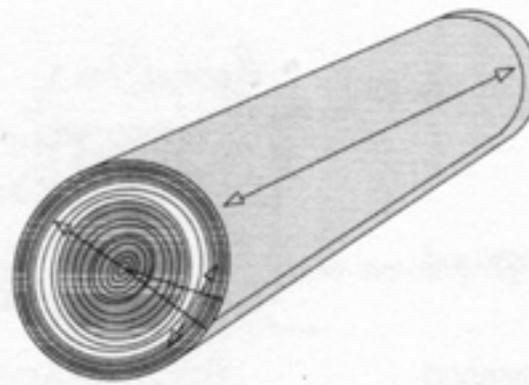


Fig. 7: Shrinkage and swelling of a trunk

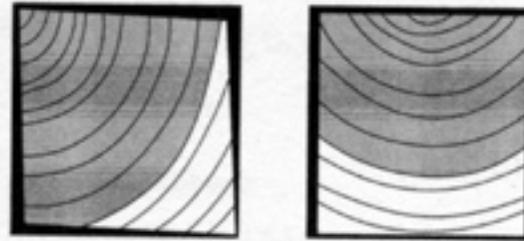


Fig. 8: Distortion of squared sections during drying

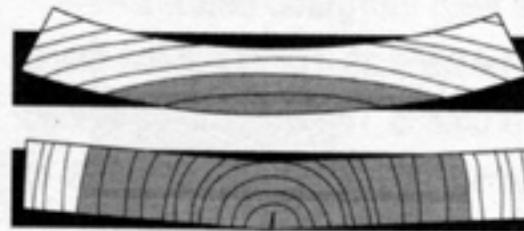


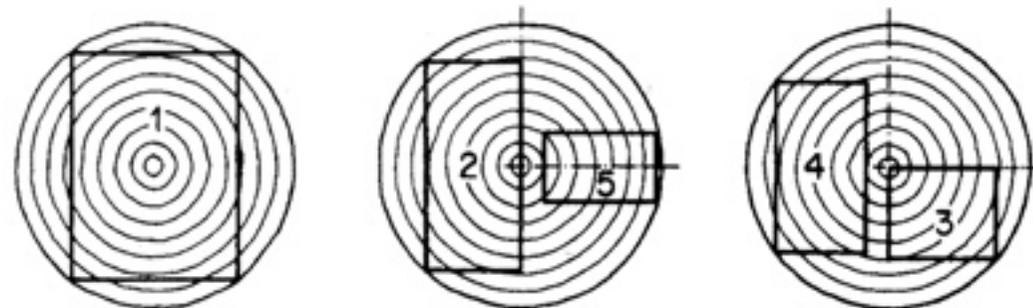
Fig. 9: Distortion of boards during drying

di cosa è fatto il legno

i tronchi ottenuti senza nessun tipo di lavorazione, ad eccezione della rimozione di tutti i rami, sono utilizzati nella costruzione di impalcature, ponti, pali, sostegni e soprattutto nella costruzione detta 'log construction'. la grande resistenza è dovuta al fatto che la struttura originaria dell'albero non viene intaccata.

il taglio del tronco per ottenere semi-lavorati non ha peraltro vere conseguenze sulla resistenza, in ogni caso è importante tenere in considerazione alcuni fattori:

- contrazione e rigonfiamento – la distorsione delle sezioni trasversali provocata dall'umidità dipende dalla posizione degli anelli di crescita all'interno della sezione stessa.
- fessure che si formano durante l'asciugatura – la sollecitazione di taglio può essere compromessa in sezioni contenenti il midollo
- compressione perpendicolare alle fibre – la resistenza a compressione dipende dall'allineamento degli anelli di crescita all'interno della sezione
- resistenza biologica – migliore resistenza può essere ottenuta utilizzando sezioni senza alburno.



- 1 Squared log (boxed heart)
- 2 Heart section (exposed pith on face)
- 3 Heart section (exposed pith on arris)
- 4 Side section
- 5 Centre section



Heart board (boxed heart)



Centre board



Side board



Heart board  
(exposed pith on face)



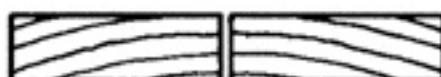
Heart board  
(exposed pith on edge)



Heart board  
(exposed pith on arris)



Side board



Side boards



Slab (debarked)

il taglio del tronco

per soddisfare la domanda crescente di legno alla luce di risorse in diminuzione e povera qualità assisteremo probabilmente ad una crescita dei prodotti a base di legno.

l'uso economico del legno e l'utilizzo degli scarti ha portato allo sviluppo di molti nuovi prodotti ottenuti pressando e compattando parti di legno di diverse dimensioni (assi, strisce, impiallacciate, trucioli e schegge) con resine adesive sintetiche o leganti minerali. nel processo produttivo la materia prima viene sfruttata completamente, e le irregolarità del legno omogeneizzate. i prodotti offerti sono facilmente 'lavorabili' e sono in grado di soddisfare le domande più diverse.

I più comuni prodotti a base di legno sono:

- prodotti stratificati

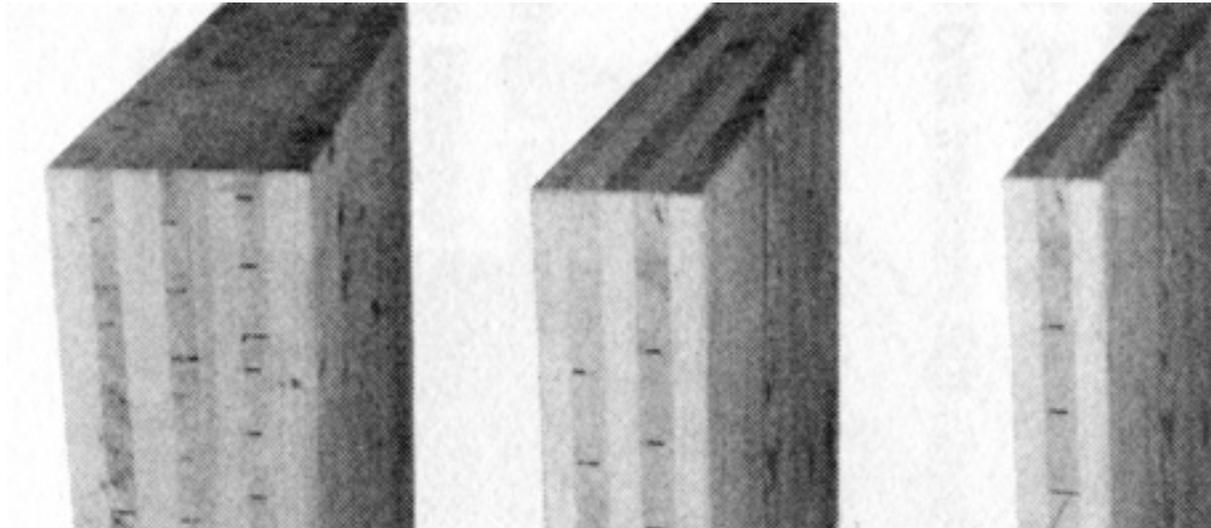
legno lamellare (glulam)  
compensato  
impiallacciato  
compensato con base in massello  
multistrato  
pannelli strutturali

- pannelli ottenuti da particelle

ricostituito in trucioli  
ricostituito in 'fiocchi'  
a schegge orientate (osb)

- pannelli ottenuti da fibre

fibre a densità media (mdf)



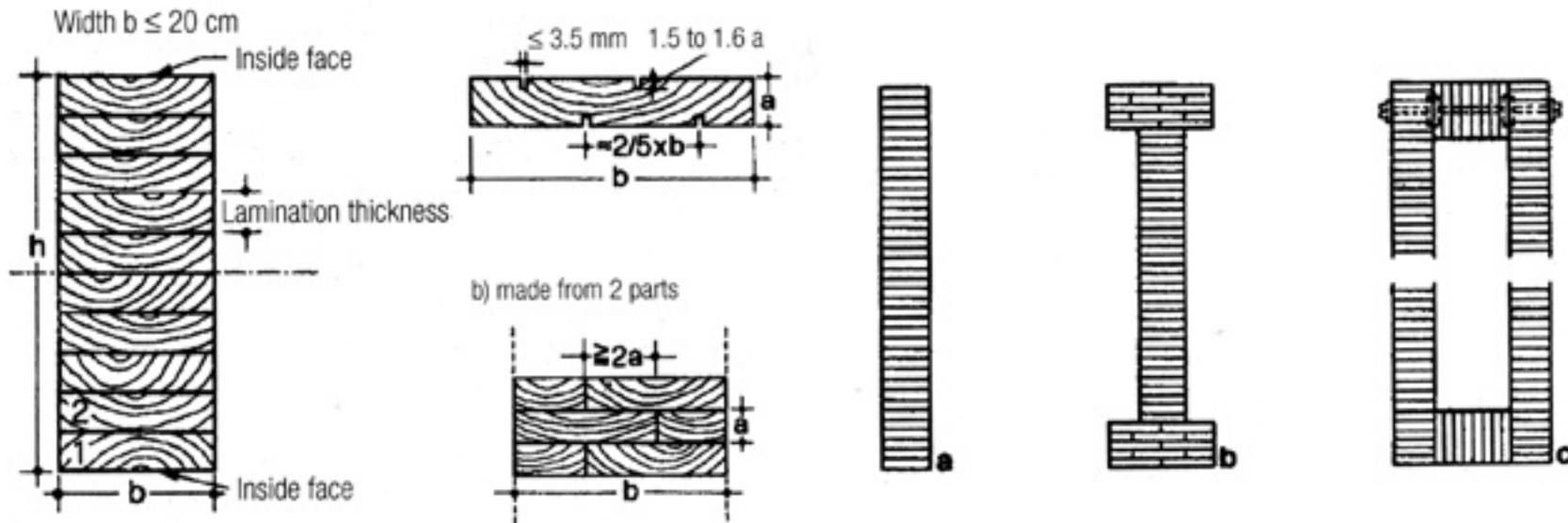
i prodotti a base di legno

consiste in 3 o più strati sovrapposti orizzontalmente ed incollati insieme attraverso la loro lunghezza.

gli strati dallo spessore di circa 3-4 cm vengono incollati in modo che facce 'interne' ed 'esterne' si guardino sempre ed in modo che solo facce 'interne' siano rivolte verso le estremità, accorgimento necessario per minimizzare le tensioni trasversali.

il legno lamellare può essere prodotto praticamente in ogni formato, nei limiti delle macchine utilizzate per la lavorazione (larghezza) e dei mezzi di trasporto (lunghezza). generalmente larghezze di 2.20 m e lunghezze di 30-35m sono possibili.

le sezioni più comuni sono rettangolari, è tuttavia possibile realizzare sezioni più complesse che, sebbene utilizzino meno materiale a parità di prestazione, richiedono una lavorazione più complessa e costosa.



legno lamellare (glulam)

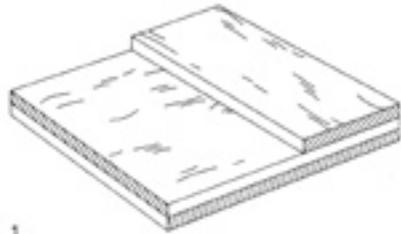
è costituito da almeno 3 strati incollati (con le fibre appartenenti alle facce complanari ruotate di 90°) attraverso l'impiego di colla di resina fenolica, e l'azione di pressione e calore.

Successivamente i bordi vengono tagliati e le facce sabbiate o trattate in altro modo. Il legno compensato può essere piegato e curvato in ogni modo applicando pressione e umidificandolo adeguatamente.

Molti sono gli impieghi possibili, i più comuni sono i rivestimenti di facciate, di tetti o di superfici orizzontali.

Il compensato assorbe facilmente l'umidità e, se esposto, deve essere opportunamente trattato.

Alcuni prodotti di questa 'famiglia', come il multistrato o il compensato con base in legno massello, mostrano grande rigidità e possono essere utilizzati in architettura con funzione portante



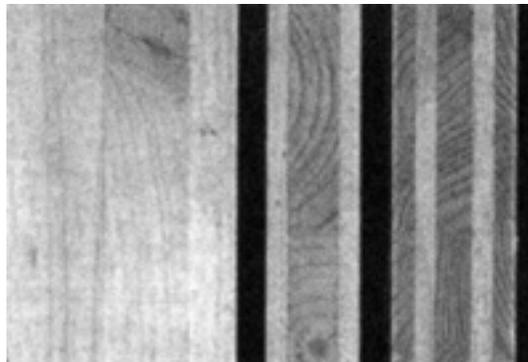
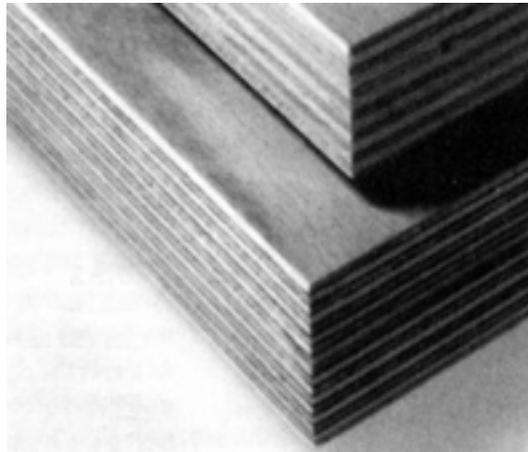
1



2



3



legno compensato (plywood)

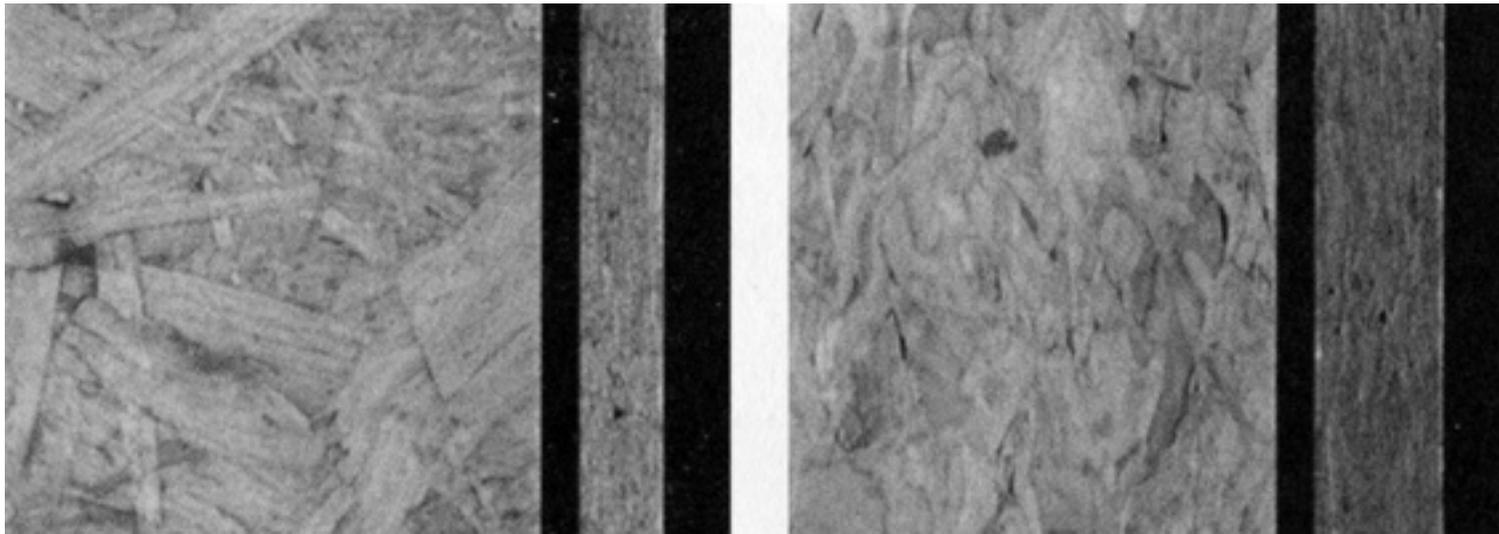
le particelle di scarto del legno come trucioli, schegge e fiocchi, vengono mischiate con leganti organici e pressate ad alta temperatura per formare assi in cui le particelle sono disposte in direzione perpendicolare a quella della pressione subita.

possono anche essere ottenute attraverso processi di estrusione, in questo caso le particelle presentano una direzione parallela al verso dell'estrusione.

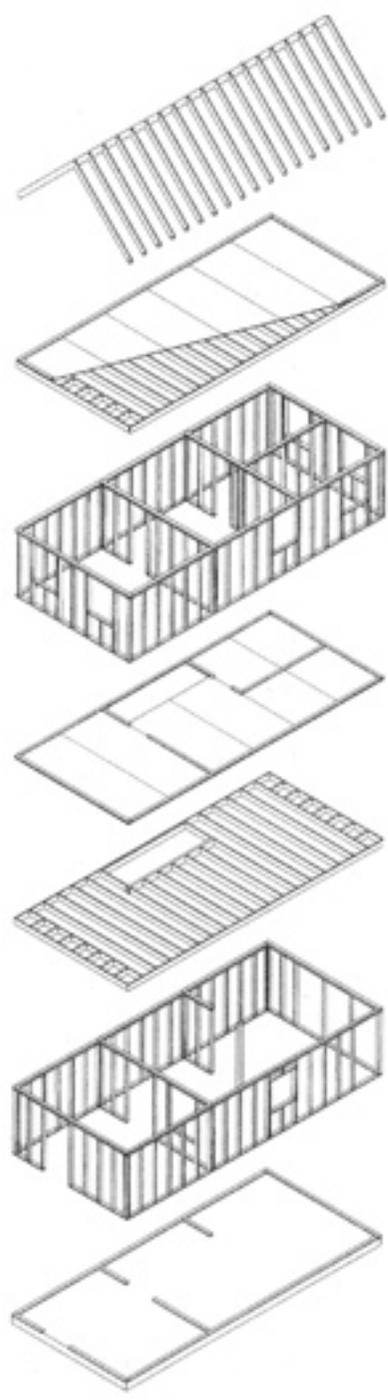
i pannelli sono in genere forniti con le superfici solamente sabbiate.

l'impiego classico è quello di irrigidimento o rivestimento di pavimenti e pareti, è anche possibile impiallacciare e rivestire il materiale.

la resistenza meccanica è moderata, quella all'umidità è inferiore ai prodotti laminati e dipende dal legante.



pannelli ottenuti da particelle



**i sistemi costruttivi**

metodo tradizionale, raramente utilizzato al giorno d'oggi, basato su un elemento (modulo) relativamente piccolo con irrigidimenti trasversali e complanari alla direzione della parete.

In questa forma di costruzione è possibile cogliere il primo tentativo di prefabbricazione.

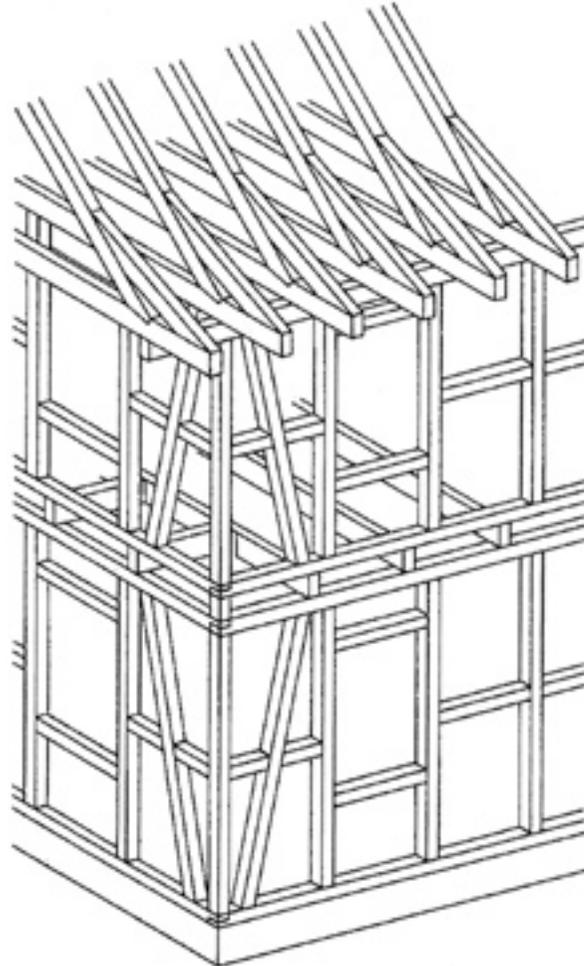
la funzione di portare e quella di separare sono unite nello stesso piano verticale.

l'assemblaggio avviene in opera livello dopo livello e la distanza tra i diversi elementi verticali dipende dalla loro capacità strutturale, legata alla dimensione della sezione.

i giunti tra i diversi elementi non sono sottoposti a tensioni eccessive e sono realizzati con maschiature o dadi obliqui.

nelle costruzioni tradizionali di questo tipo gli elementi portanti erano generalmente sovra-dimensionati poiché le strutture non erano progettate o calcolate, questo si rifletteva in costruzioni essenzialmente non economiche.

i 'vuoti' tra i diversi elementi verticali erano generalmente riempiti con canniccio oppure con mattoni di argilla.



timber frame construction

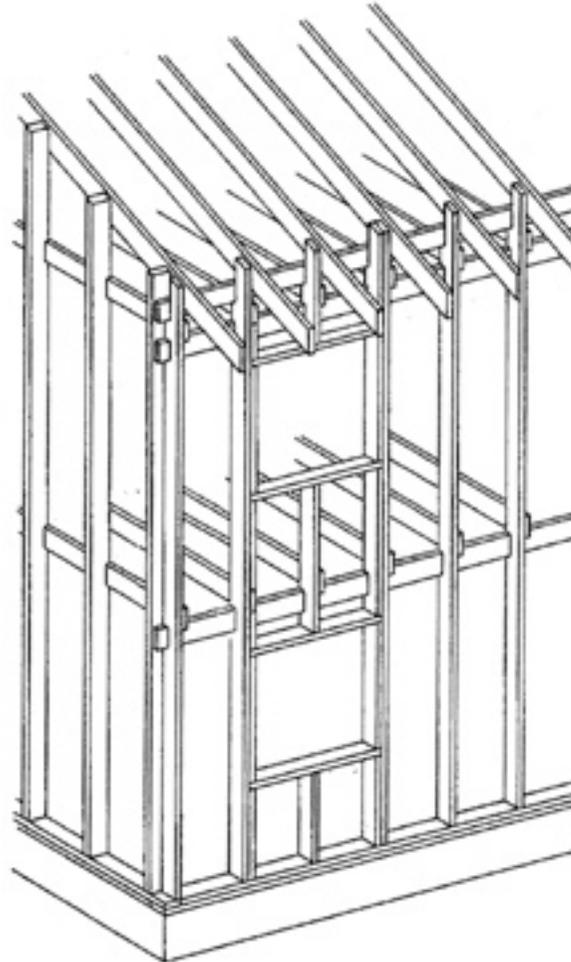
sistema molto diffuso negli stati uniti costituito da elementi lineari a sezione rettangolare (circa 5x20cm) molto vicini l'un l'altro. quando sezioni più grandi sono richieste, queste vengono ottenute inchiodando insieme più elementi verticali. questa struttura ad 'aste' viene inchiodata insieme in opera e generalmente è di 2 o più piani.

la stabilità è garantita da assi di legno o pannelli inchiodati trasversalmente.

la semplicità del sistema, in cui eventuali elementi aggiuntivi sono inchiodati alla struttura principale, permette di costruire rapidamente e non richiede particolare abilità manuale.

il 'balloon frame' consente grande libertà nell'organizzazione dello spazio interno e le bucatore possono essere posizionate con una certa libertà.

si tratta di una costruzione molto solida ma non economica perchè sovra-dimensionata.



balloon frame construction

si tratta di un'evoluzione dei due precedenti sistemi, si distingue da essi per l'alto grado di prefabbricazione ed è di conseguenza un modo di costruire oggi largamente diffuso.

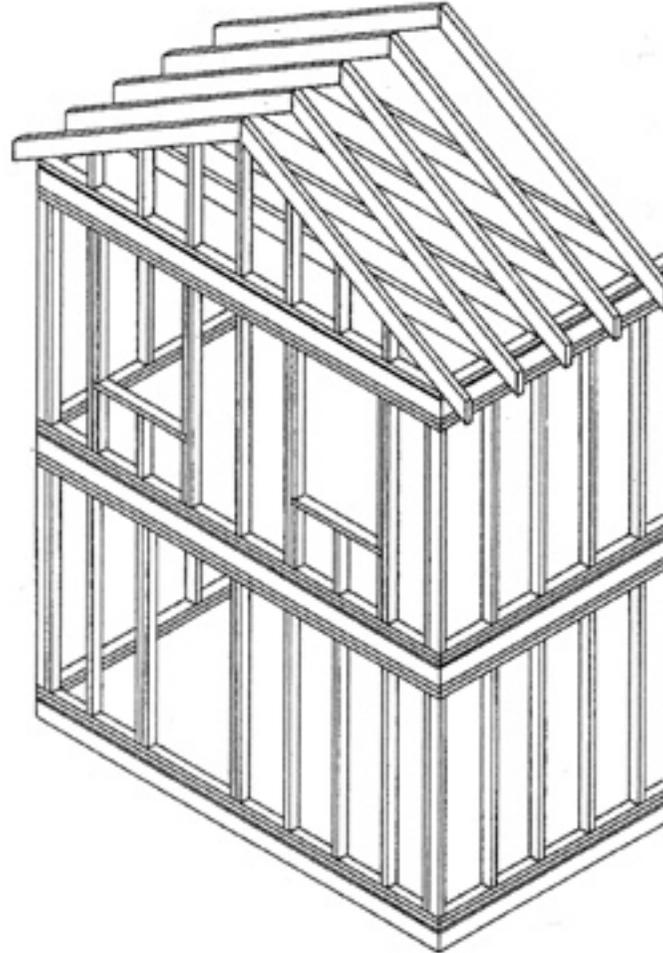
gli elementi portanti sono dei telai preassemblati dell'altezza di un piano, composti da elementi lineari a sezione rettangolare e resi stabili da pannelli rigidi o da assi poste trasversalmente.

il sistema si basa su un modulo abbastanza piccolo che permette comunque bucatore di diversa larghezza.

gli elementi portanti (e di separazione) vengono prefabbricati e trasportati in cantiere, dove vengono semplicemente eretti ed, eventualmente, rivestiti.

il principio tettonico di sovrapporre un piano all'altro consente grande libertà al progettista e dà luogo a soluzioni versatili.

il sistema è economico perché standardizzato ed ottimizzato, le connessioni sono semplici e vengono risolte inchiodando o avvitando i diversi elementi.



platform frame construction

i recenti progressi nella costruzione 'a pannelli' stanno portando ad un inversione del principio 'tettonico' della costruzione a 'telai e pannelli' (platform frame construction).

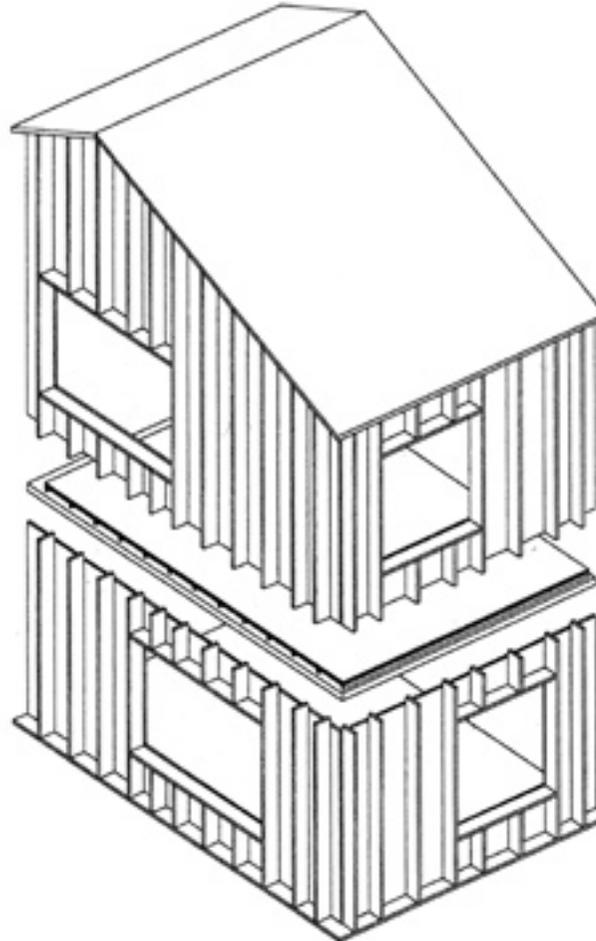
l'elemento portante è diventato una lastra molto rigida e stabile e non più un elemento lineare.

questo ruolo è svolto bene dai prodotti a base di legno con diversi strati incollati in diverse direzioni, l'aggiunta di 'costole trasversali' dello stesso materiale incrementa la resistenza al carico dei pannelli, l'isolamento è in questo caso posto tra le costole verticali.

la natura piana e non-direzionale di questi 'pacchetti' prefabbricati permette di concepire strutture architettoniche dalle caratteristiche finora sconosciute nella costruzione in legno.

le bucatore possono essere tagliate nel materiale praticamente qualsiasi posizione.

in questo tipo di costruzione ogni elemento può svolgere più funzioni, questo riduce il numero di strati necessari ottimizzando la costruzione e rendendola essenziale.



panel construction

il metodo di costruzione 'a tronchi' è l'unico, tra quelli tradizionali, che appartiene alla categoria dei sistemi continui.

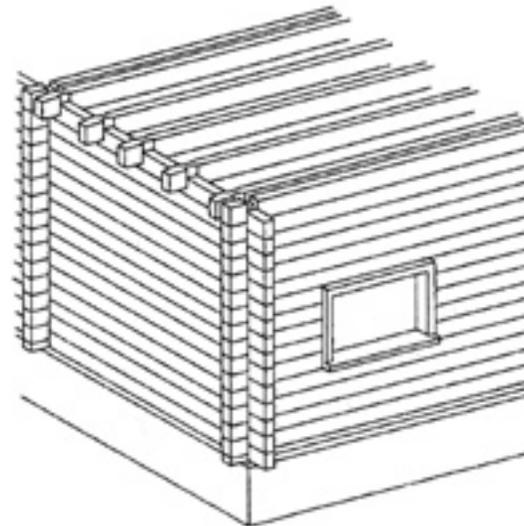
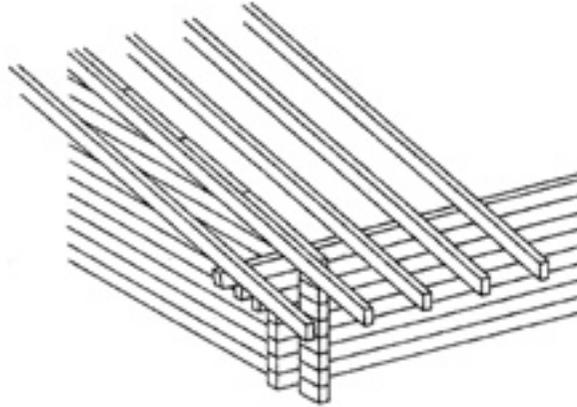
il recinto del muro è costituito da un'unico strato di elementi lineari impilati orizzontalmente ed tenuti insieme da giunti ad incastro.

il 'muro' funziona come elemento portante, come partizione e come rivestimento.

l'attrito nelle fughe orizzontali prodotto dal peso che si trasmette verticalmente sui singoli elementi ed il lavoro degli incastri d'angolo conferiscono stabilità senza bisogno di giunti meccanici. la lunghezza dei muri perimetrali dipende dalla lunghezza degli elementi di legno e non supera generalmente i 4,5m.

il fatto che i 'tronchi' subiscano forze perpendicolari alle fibre provoca deformazioni di assestamento che devono essere considerate nella progettazione, specialmente nellacostruzione dei serramenti delle bucaure.

questo sistema costruttivo non soddisfa più gli standard di isolamento termico contemporanei e necessita di uno strato di rivestimento addizionale.



log construction

è la forma più esile e delicata di costruzione in legno, le 'colonne' verticali e le strutture 'a telaio' orizzontali costituiscono la struttura portante.

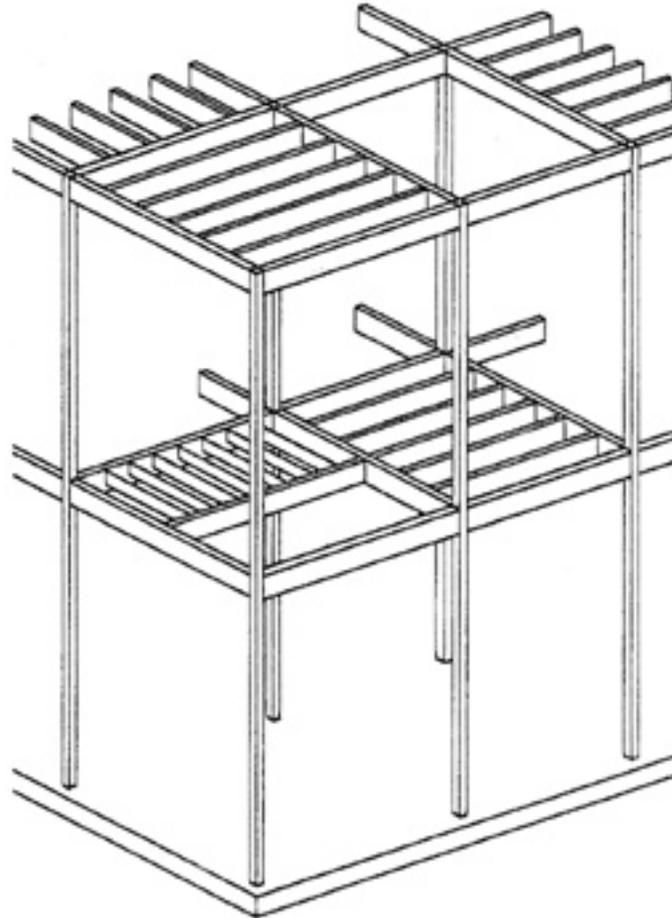
la consistenza degli elementi (verticali ed orizzontali) ed i tipi di giunti determinano le distanze tra le 'colonne' e la conseguente permeabilità del sistema.

le connessioni sono generalmente realizzate con elementi metallici che 'impacchettano' e tengono insieme.

la stabilità è garantita da tiranti o aste metalliche diagonali.

la caratteristica di questo sistema è di rendere la struttura portante completamente indipendente dagli elementi di separazione dello spazio interno.

questo consente grande libertà nella distribuzione in pianta e totale permeabilità tra spazio interno ed esterno.



frame construction



Ilina bo bardi, minas gerais, 1982

discontinuità e luce



**casa tradizionale a roros, norvegia**

**il legno come massa**



the smithsons, hessen, 1986-2002

tettonica e metafora



**brendeland & kristoffersen, trondheim, 2005**

**100&wood?**



yves brunier, rotterdam, 1994