

CAPITOLO

7

STRUTTURA

Abstract

Si illustra la genesi degli elementi costruttivi che assumono la duplice specificazione di espressione formale e soluzione tecnologica. Dimensioni modulo/strutturali, autonomia strutturale e relazioni con gli altri elementi; il telaio.

PARTE II

STRUTTURA

Rimandando l'approfondimento dei fondamenti teoretici agli studi specifici in materia, questa trattazione ci serve per evidenziare come l'apprendimento dell'arte del comporre non possa fare a meno di riferirsi al problema del linguaggio e della forma, per individuare le cellule elementari che lo compongono e per capire quali sono i processi logici che generalmente ne determinano l'accostamento e l'interazione.

Senza che questa voglia essere un'esposizione esaustiva e definitiva, tuttavia si è cercato di mantenere una linea di chiarezza ed estrema sintesi, al fine di familiarizzare il lettore con il metodo di analisi critica che ha portato ai risultati esposti nella presente opera. Si è cercato di delineare l'organismo architettonico come interazione complessa di elementi semplici; questi elementi costituiscono un insieme di parole che, combinate fra loro, generano un discorso.

Le interazioni fra le parti non sono casuali, ma seguono delle regole che, se da un lato non sono stabilite a priori una volta per tutte, dall'altro sono condizionate da rapporti preesistenti determinati sia dalla specifica funzione (struttura portante, delimitazione dello spazio, percorsi, ecc.), sia dalla loro valenza formale (dimensioni prevalenti, forme geometriche e loro relazioni, rapporti dimensionali, ecc.).

Nel contempo si è voluto sottolineare come il processo compositivo debba fin dall'inizio interessare il progetto nella sua totalità e tridimensionalità, ragion per cui la rappresentazione grafica più idonea in questa fase è quella volumetrica, anche se piante, prospetti e sezioni restano indispensabili strumenti di verifica.

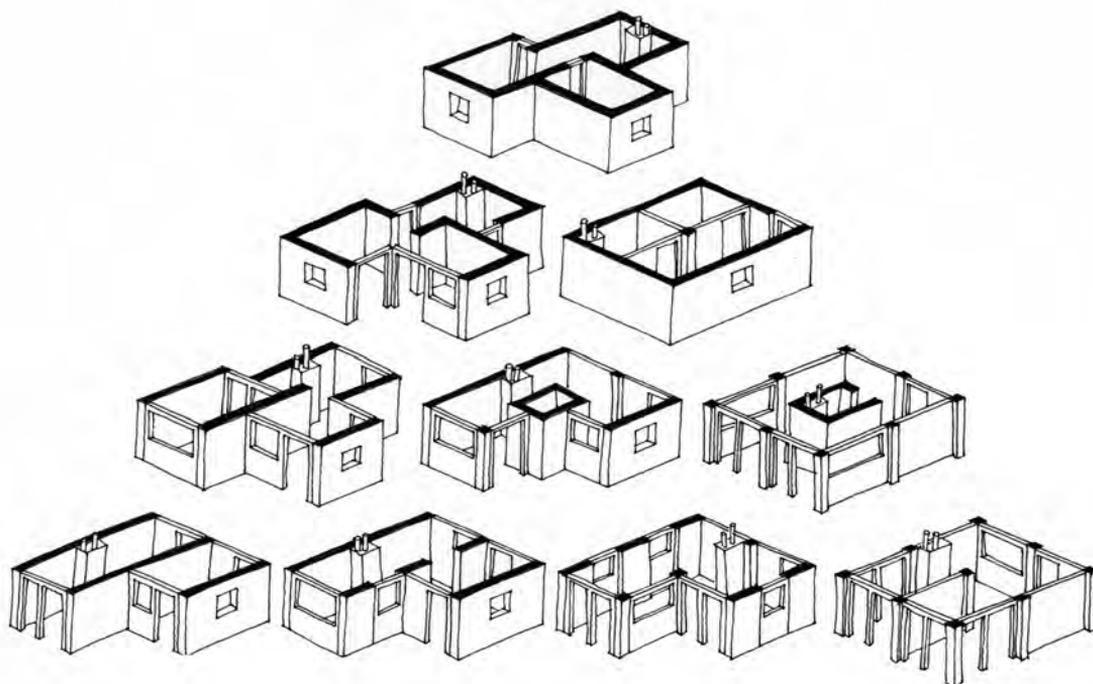
LE PAROLE DELL'ARCHITETTURA

Il **linguaggio architettonico** si articola attraverso l'interrelazione di **elementi di base** che, per analogia, potremmo paragonare alle parole del linguaggio umano.

Queste parole costituiscono dei nuclei elementari di significato, sintagmi che accostandosi fra loro e interagendo in vari modi vengono a costituire le frasi. Il tutto dunque è caratterizzato da una struttura sintattica in cui ogni elemento ha una sua funzione.

Gli elementi di base possono essere individuati attraverso l'analisi degli oggetti architettonici, grazie ad un'operazione di sintesi e di astrazione, che ci consentirà di individuare le "parole" che costituiscono il linguaggio.

Lo studio dell'architettura storica nella sua millenaria vicenda, da un lato, e l'osservazione del panorama architettonico contemporaneo, dall'altro, ci mostrano come poi i risultati compositivi si concretizzino in poetiche completamente differenti, essendo diversi i contesti culturali, per collocazione cronologica e per dislocazione geografica, e la sensibilità degli architetti, nonché le disponibilità tecniche delle civiltà succedutesi lungo la storia.



I sintagmi dell'architettura

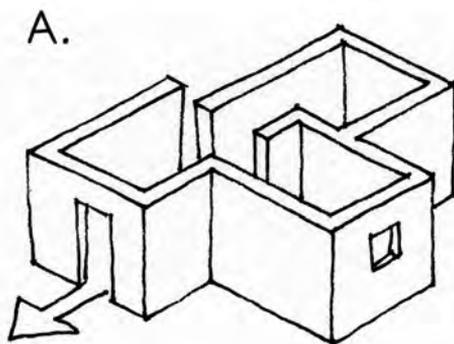
Questi elementi non sono mai isolati, ma si relazionano fra loro, andando a costituire i **sintagmi** elementari dell'architettura, che a loro volta si aggregano a formare delle entità più vaste e complesse, che potremmo paragonare a delle **frasi**.

Si tratta di insiemi di elementi dal significato in qualche modo autosufficiente dotati di una propria identità. Così un organismo architettonico è costituito da parti che a loro volta formate da elementi di base. Abbiamo già inconsapevolmente manipolato le parti di un'architettura, quando abbiamo provato a far interagire le forme elementari, sia bidimensionali che volumetriche. In quel caso però gli elementi non avevano ancora quella caratterizzazione architettonica che fa di una forma una parte.

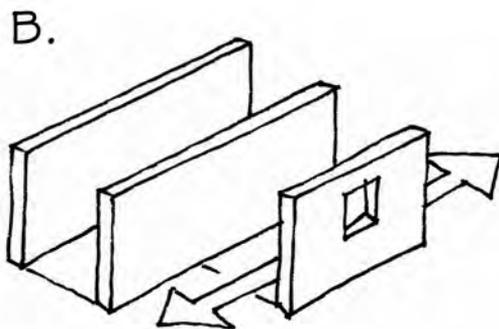
La parte è costituita da elementi costruttivi che, pur non avendo ancora una specificazione tecnologica, hanno una loro propria vocazione ad acquisirne una; ciò che avverrà in una fase successiva del progetto.

Per definire le parti e in definitiva l'organismo architettonico, dobbiamo ora focalizzare la nostra attenzione su quegli elementi di base che abbiamo definito in astratto, ma che ora devono essere analizzati in maniera più puntuale.

A questi elementi di base noi diamo le denominazioni di **setto** e **parete**.



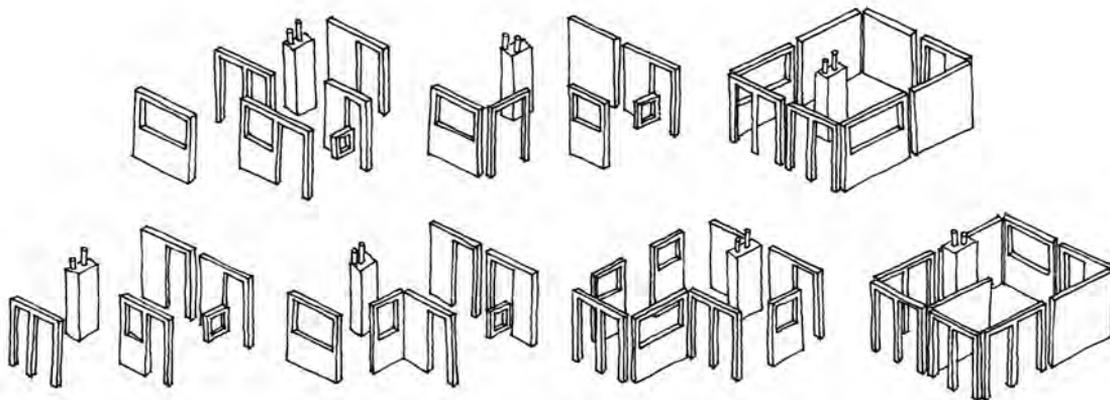
A. Schema concettuale della parete



B. Schema concettuale del setto

Il setto viene spesso definito come una parte strutturale dell'edificio venendo così a sostituire così la funzione statica del pilastro. La sua idea si associa sempre a una tecnologia fluida come il cemento e la muratura, richiama, quindi, a un effetto tradizionale, classico.

La parete viene invece utilizzata per comprendere e organizzare la separazione degli spazi interni ed esterni.



Successivamente vedremo che questi due componenti, oltre a presentarsi in modi di aggregazione e conformazione estremamente vari, possono contrarsi fino a costituire elementi monodirezionali. In questo caso avremo degli elementi comunemente definibili come *pilastrini* o *travi*, ma che il più delle volte sono utilizzati in un'aggregazione più o meno complessa, che ne determina il valore sintattico: il **telaio**.

SETTO E PARETE

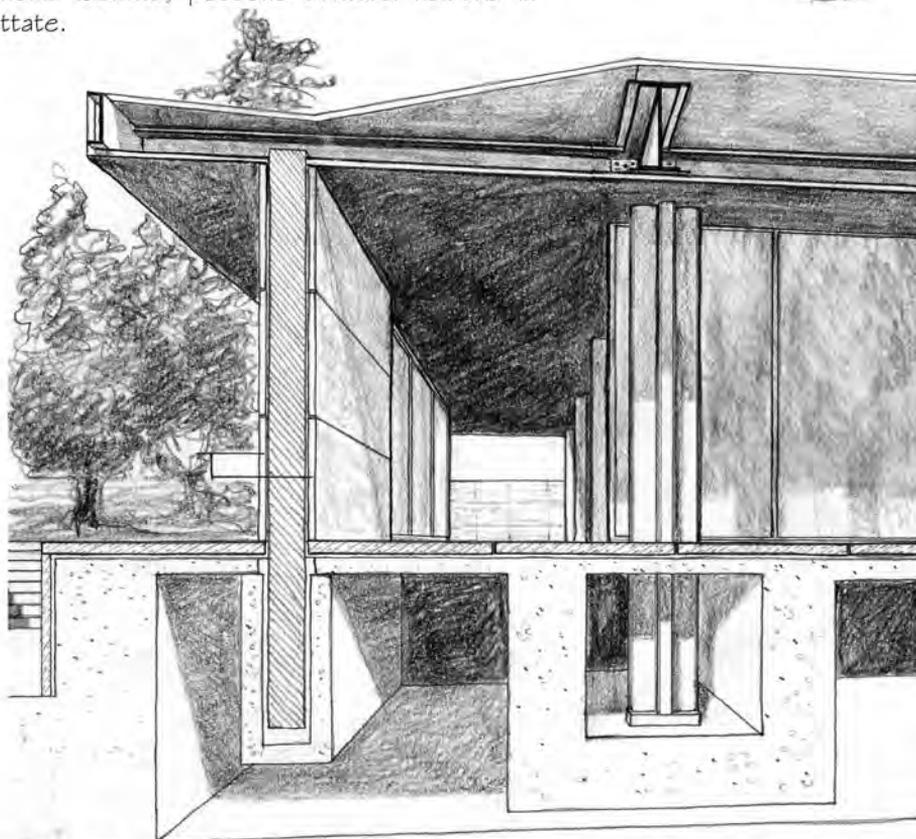
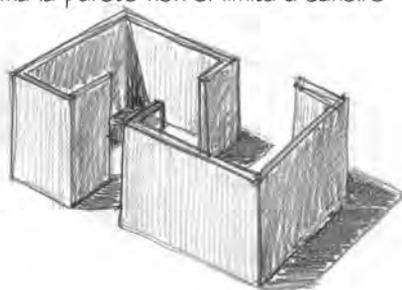
La mancanza di un termine specifico proveniente dalla tradizione architettonica, ha indotto a trovare nel linguaggio della tettonica i termini per definire i due elementi come setto e parete.

Ma in questo caso non ci si riferisce alle determinazioni statico-tecnologiche di questi, anche se spesso setto e parete costituiscono in effetti anche gli elementi portanti della struttura. Per comprendere la differenza semantica fra il setto e la parete, vale forse la pena di azzardare un'altra analogia, questa volta con il linguaggio musicale. Potremmo dire che i setti scandiscono un "ritmo", le pareti intonano una "melodia".

La parete

La parete sviluppa un involucro, che può giacere su molteplici piani, congiunge, definisce e limita spazi. La distinzione fra lo spazio interno e l'esterno è netta, ma la parete non si limita a sancire questa separazione.

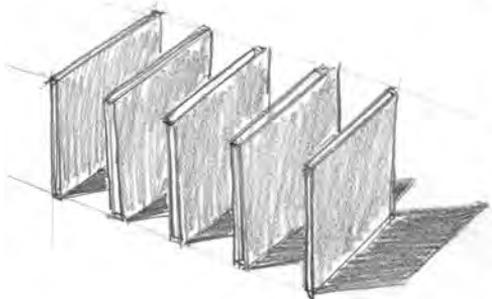
Attraverso l'involucro lo spazio può esprimere dinamiche di vario tipo: l'interno può premere verso l'esterno, contrarsi, può divenire trasparente, per modulare un rapporto cromatico e una mediazione materica fra l'interno e l'esterno, come in Mies, le pareti possono sovrapporsi a costituire una doppio strato con intercapedine, possono fondersi in continuità, intersecarsi, senza perdere la propria autonoma identità, possono avvitarsi nell'aria in forme inaspettate.



Ludwig Mies Van der Rohe, *Padiglione Tedesco all'Esposizione di Barcellona*, 1929-86

Il setto

Il setto giace su un piano, taglia lo spazio, denuncia un intervallo. Fra i setti c'è sempre uno spazio nel quale si proiettano ombre, elementi trasversali, opachi o trasparenti, possono esaltare la profondità dei vuoti o evidenziare il profilo dei setti stessi.



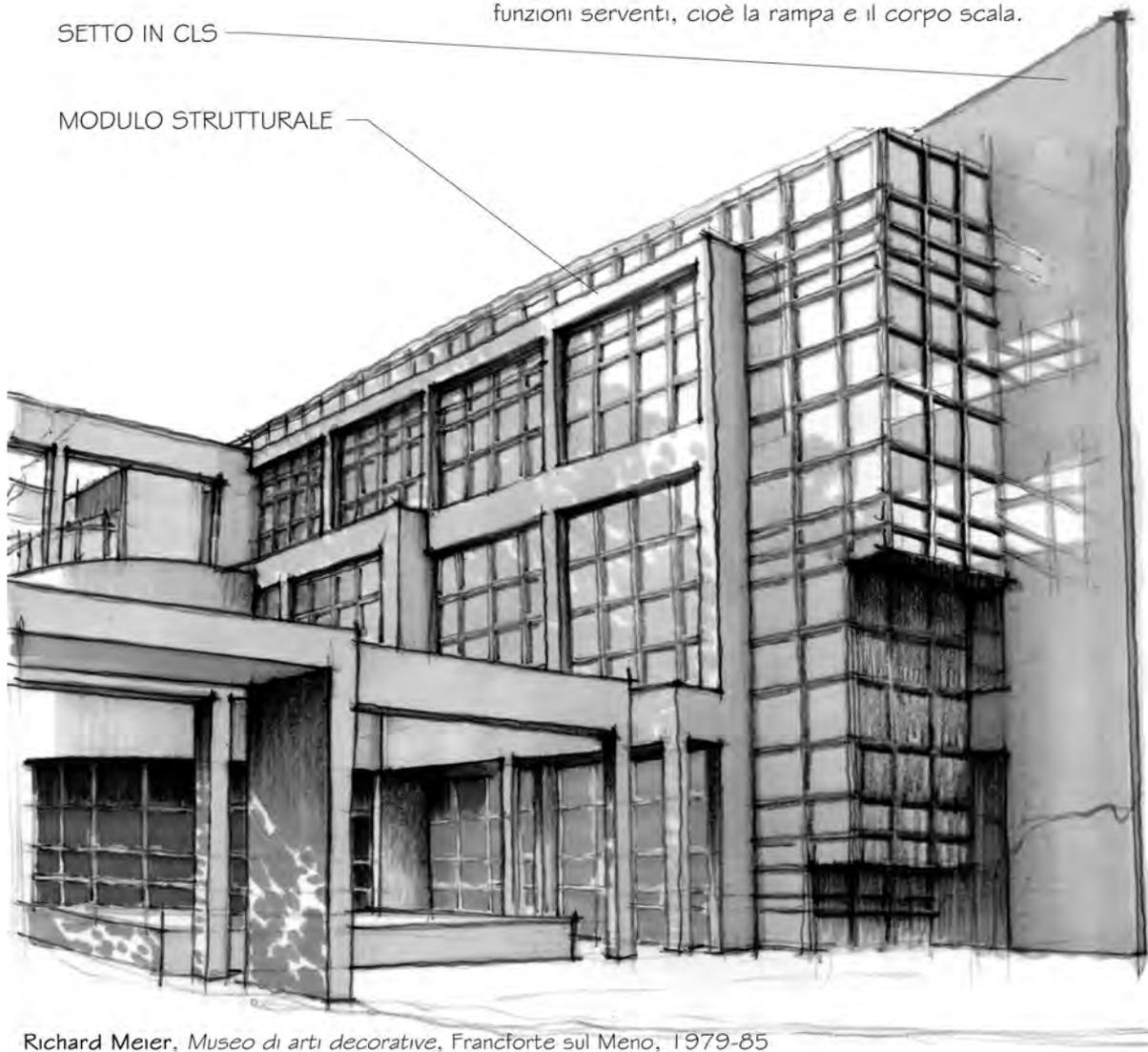
Disposti generalmente lungo una direzione rettilinea, talvolta su curvature a largo raggio, possono anche susseguirsi su una curva chiusa, infittendosi, definendo raggiere di forma circolare o ellittica (si pensi ai teatri ed anfiteatri di epoca classica).

L'aggregazione di setti è sempre monodirezionale; quando due o più sequenze si intersecano, alcune prevalgono sulle altre, le più "forti" restano integre, le altre possono perdere elementi, possono cambiare il passo o subire altre trasformazioni.

In questo caso il setto è l'elemento catalizzatore delle funzioni serventi, cioè la rampa e il corpo scala.

SETTO IN CLS

MODULO STRUTTURALE



Richard Meier, *Museo di arti decorative*, Francforte sul Meno, 1979-85

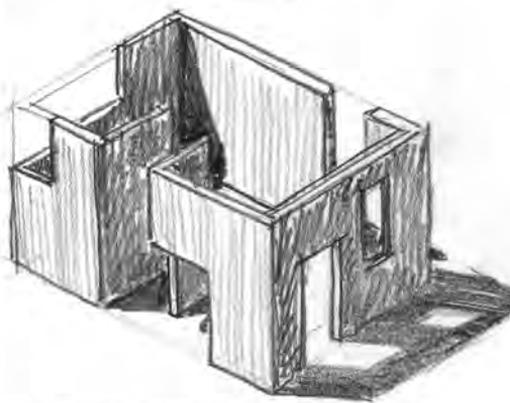
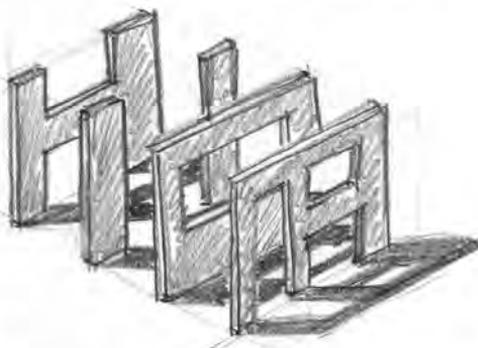
Le aperture nei setti e nelle pareti

Il ruolo dell'apertura è quello di stabilire una relazione fra lo spazio interno e quello esterno ed è un problema architettonico sempre difficile da risolvere, paragonabile a quello della soluzione d'angolo. Il tema è reso ancor più complesso dalla possibilità di utilizzare materiali trasparenti e colorati, ciò che rende possibile stabilire una comunicazione visiva esterno-interno anche attraverso una parete.

Diverso è il ruolo delle aperture nei due rispettivi sistemi sintattici. Nei setti l'apertura consiste nell'intervallo che li separa, eventualmente ricucito da elementi trasversali, mentre l'attraversamento del piano su cui giacciono è determinato da un ritrarsi quasi accidentale della materia, lasciando intuire il permanere della forza del setto stesso sulla sua giacitura.

L'apertura della parete è uno squarcio nella continuità dell'involucro, assume valenza iconica autonoma, sottolinea la contrapposizione fra un interno ed un esterno, laddove invece il setto scandiva spazialità analoghe, interne o esterne che fossero. Negli schizzi schematici qui presentati si vuole evidenziare la peculiarità dei setti e delle pareti e la loro diversa valenza semantica, il modo differente di generare delle aperture, la differenza del ruolo sintattico.

Sebbene un'architettura possa essere caratterizzata prevalentemente dall'architettura del setto o, al contrario, da quella della parete, frequentemente setto e parete sono compresenti ed interagiscono nei modi più vari, concorrendo a determinare il carattere delle parti.



Nel caso dell'Assembly building possiamo cogliere nei prospetti lo stesso ruolo compositivo, infatti, la parete modula e scandisce la plasticità ritmica delle bucaure.



Le Corbusier, *Assembly building*, Chandigarh, 1951

Setto e parete “orizzontali”

Se teniamo ben presente il significato che abbiamo attribuito ai termini “setto” e “parete”, possiamo capire come questi elementi del linguaggio architettonico possano essere declinati anche secondo una *direzione orizzontale*.

Le stesse caratteristiche degli elementi verticali possono essere infatti attribuite agli orizzontamenti, anche se dal punto di vista costruttivo essi saranno realizzati con tecnologie e schemi statici differenti, ottenendo solai, rampe, falde di copertura.

Setto orizzontale

I setti qui definiscono scansioni orizzontali, evidenziando marcapiani, enfatizzando aggetti, generando griglie di frangisole.

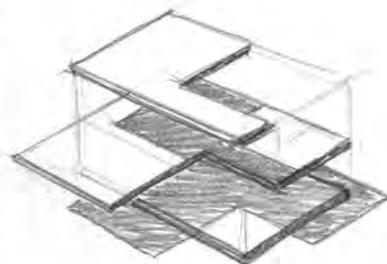
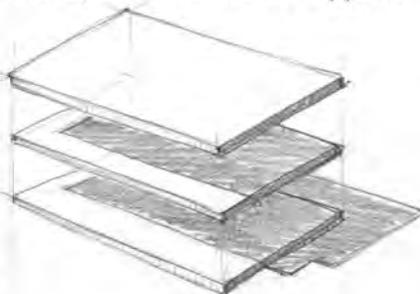
Costruttivamente corrispondono ai solai, ma in più sono caratterizzati dal fatto di essere percepiti come elemento espressivo.

Per far questo devono rendersi ben visibili e dunque devono “venir fuori”.

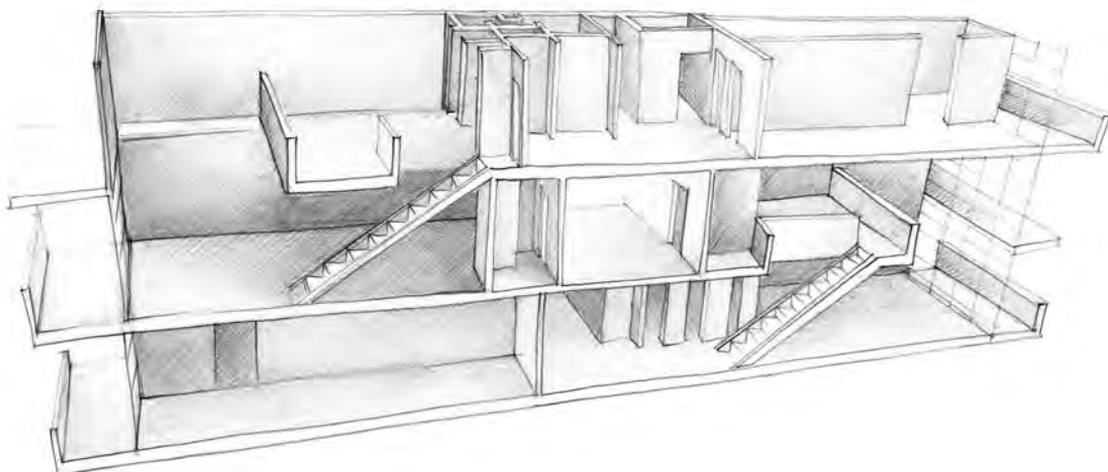
Una soluzione può essere quella di renderli visibili attraverso un involucro trasparente; in questo caso il colore e la luce giocano un ruolo fondamentale.

Una soluzione più materica è data dalla possibilità di realizzare forti aggetti e creare, in analogia con i setti verticali, delle marcate zone d’ombra, con in più una ricca articolazione planimetrica,

Nell’*Unità di Abitazione di Marsiglia*, gli aggetti dei solai in facciata denunciano le scansioni orizzontali interne tramite le ombre che vengono proiettate sulla parete arretrata.



Il setto orizzontale e la sua articolazione



Le Corbusier, *Unité d’Habitation*, Marsiglia, 1945-52

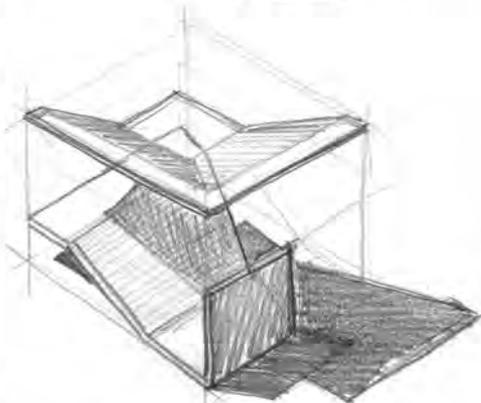
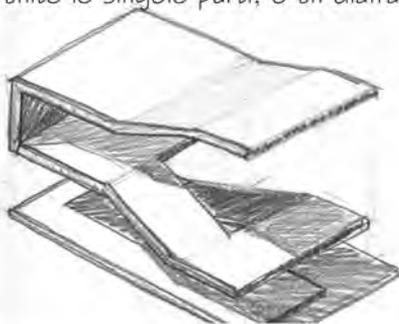
Parete orizzontale

La parete orizzontale è una superficie continua, non giacente su di un unico piano. Essa si piega a definire percorsi continui, spalti di teatri naturali o progettati dall'uomo. La dove i setti orizzontali e quelli verticali possono soltanto accostarsi e giustapporsi, le pareti possono fondersi in un unico elemento continuo, che si svolge sia in orizzontale che in verticale, stabilendo continuità e gradazioni nella fruizione dello spazio. Talvolta un filtro trasparente ne denuncia la sezione, il sinuoso piegarsi come un "origami" attraverso l'edificio, come un filo rosso che ne tenga unite le singole parti, o un diaframma che disegni un labirinto.

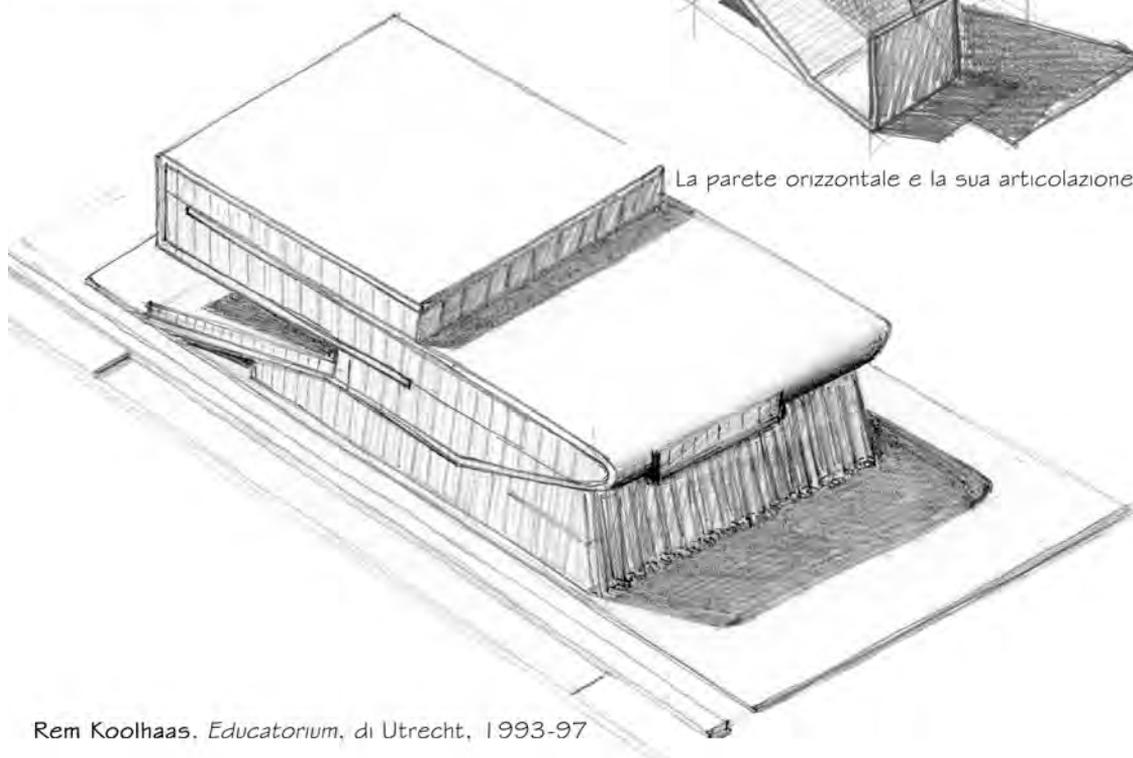
A differenza del setto, la parete orizzontale si percepisce anche solo percorrendo gli ambienti da essa definiti. Un edificio che incarna magistralmente questa continuità strutturale è l'*Educatorium* di Utrecht.

Qui il filo flessuoso della sezione scandisce la completezza dell'edificio differenziandone le funzioni.

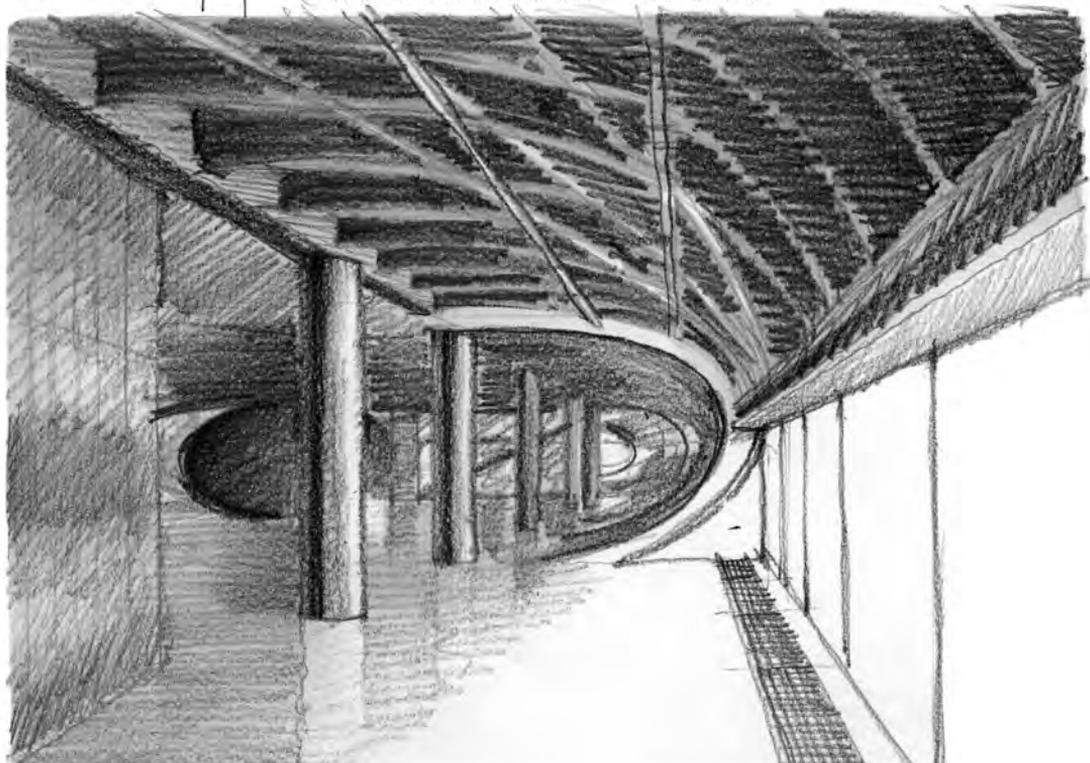
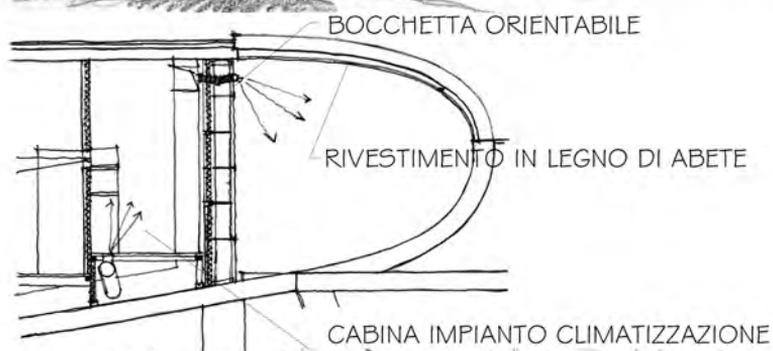
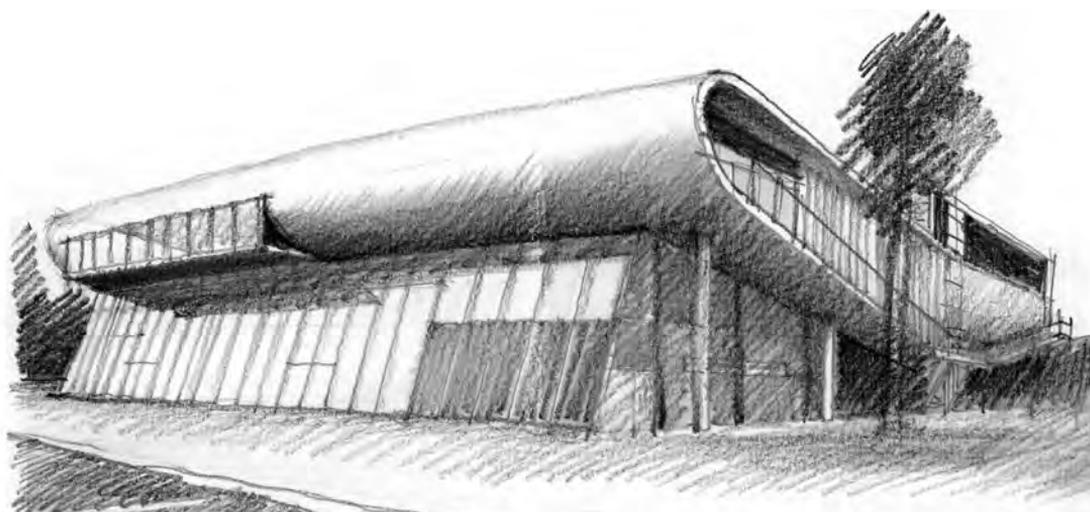
Koolhaas coglie perfettamente l'idea della dinamicità, l'involucro di questo edificio genera una continuità spaziale nuova. Le funzioni strutturali si mescolano confondendo l'inizio con la fine, dalla verticalità all'orizzontalità.



La parete orizzontale e la sua articolazione



Rem Koolhaas. *Educatorium*, di Utrecht, 1993-97



Rem Koolhaas, *Educatorium*, di Utrecht, 1993-97

Il telaio e il pilastro “multidirezionale”

La diffusione delle strutture ad appoggio puntiforme e lo sviluppo delle tecnologie del cemento armato e dell'acciaio hanno consentito da un lato la riduzione degli ingombri delle strutture portanti, dall'altro l'elaborazione di forme più libere, leggere, capaci di dominare lo spazio con ampie luci e nuove rese cromatiche. Il protagonista di queste poetiche è l'elemento costruttivo monodimensionale, l'asta, che nelle sue più comuni declinazioni assume le funzioni di pilastro e trave.

A ben guardare, però, il pilastro e la trave si inseriscono nell'organismo edilizio non come elementi autonomi, ma nel contesto di un linguaggio e dunque anch'essi sono compresi in quella struttura logico-sintattica che è stato l'oggetto della nostra attenzione, quando abbiamo individuato gli elementi di base setto e parete. In particolare il sintagma fondamentale nel quale elemento costruttivo monodimensionale trova la sua espressione organica è il **telaio**.

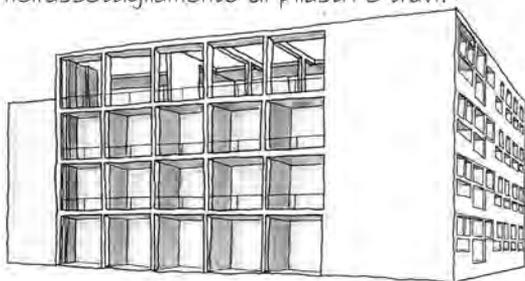
Il telaio

Il telaio è, nella sua forma più elementare, un insieme di elementi monodimensionali, verticali e orizzontali, che definiscono una griglia tridimensionale. Può essere immaginato che l'aggregazione di una serie di cellule elementari, di forma parallelepipedica, giustapposte in corrispondenza degli spigoli, in cui le pareti, che ne costituiscono l'involucro estero, si sono “contratte”, lasciando spazio ad un'apertura che ne occupa la maggior parte della superficie.

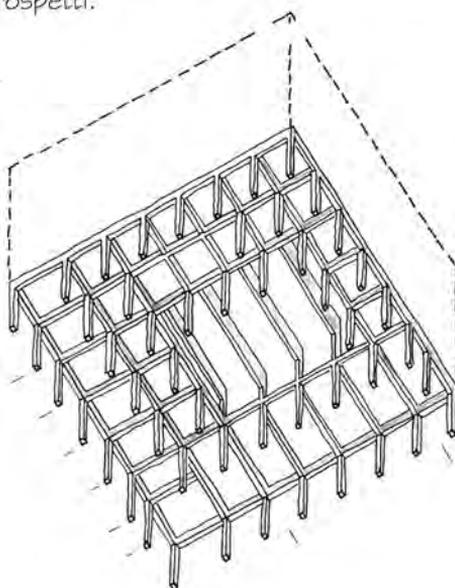
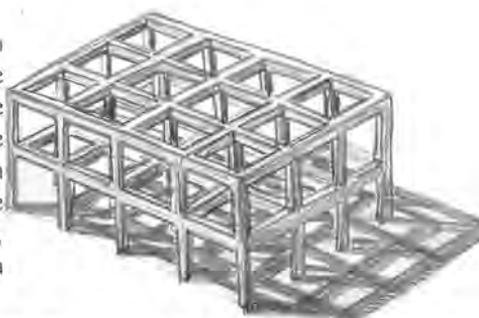
In questo caso il telaio presenta la caratteristica di avere, in orizzontale, due direzioni principali, quelle dell'orditura, nessuna delle quali prevale sull'altra. Questo tipo di conformazione costituisce spesso lo scheletro portante della maggior parte degli edifici realizzati in c.a.

Il motivo per cui viene analizzato risiede nella sua valenza formale, infatti, conoscere la funzione sintattica del telaio, vuol dire utilizzarlo come elemento compositivo, portandolo fuori del volume dell'edificio, oppure inserendolo nell'articolazione dei prospetti.

Il telaio in c.a., dal punto di vista compositivo, è impiegato allo stesso livello del sistema architravato per piani e le sue diverse potenzialità strutturali (alta resistenza, comportamento elastico, ecc), non determinano articolazioni spaziali e volumetriche, ma si riflettono più indirettamente nell'ampliamento delle aperture e nell'assottigliamento di pilastri e travi.



Giuseppe Terragni, Casa del fascio, Como, 1928

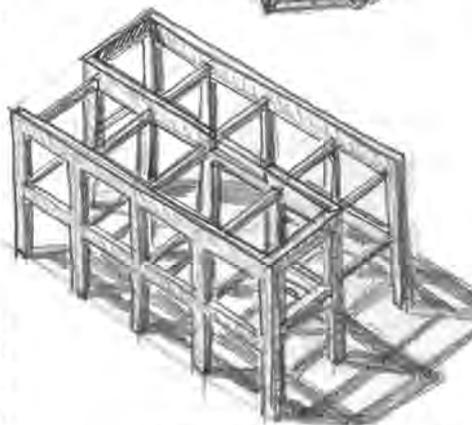
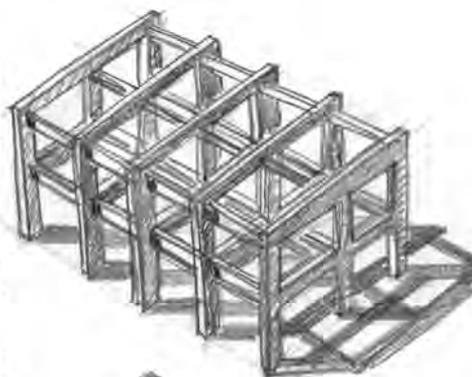


Il telaio-setto

Nella struttura intelaiata una delle due direzioni dell'orditura orizzontale può assumere una prevalenza, che viene concretizzata nel disporre nel piano di un ideale setto gli elementi dei telai bidimensionali principali.

Pilastri e travi avranno una dimensione maggiore nella sezione e questa dimensione giacerà sul piano appena descritto, mentre ai nodi gli elementi monodimensionali saranno raccordati in modo da definire un insieme continuo.

Gli elementi della direzione secondaria dell'orditura assumeranno funzione di raccordo fra le strutture di telaio-setto.



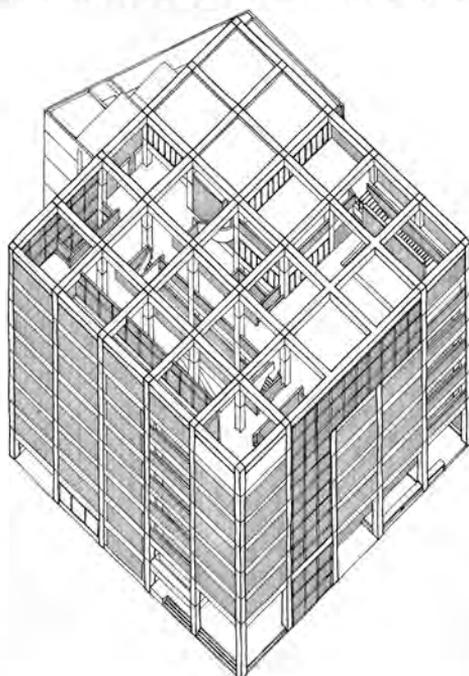
Il telaio setto e il telaio parete

Il telaio-parete

Analogamente al telaio-setto, il telaio-parete avrà un sistema principale che però, a differenza di quello, non si disporrà secondo piani-setto paralleli, ma seguirà le caratteristiche tipiche della parete.

Dunque il telaio-parete potrà ripiegarsi, giacendo su più piani, costituendo una cortina continua, ma estremamente permeabile, a causa delle grandi aperture comprese fra gli elementi monodimensionali costitutivi.

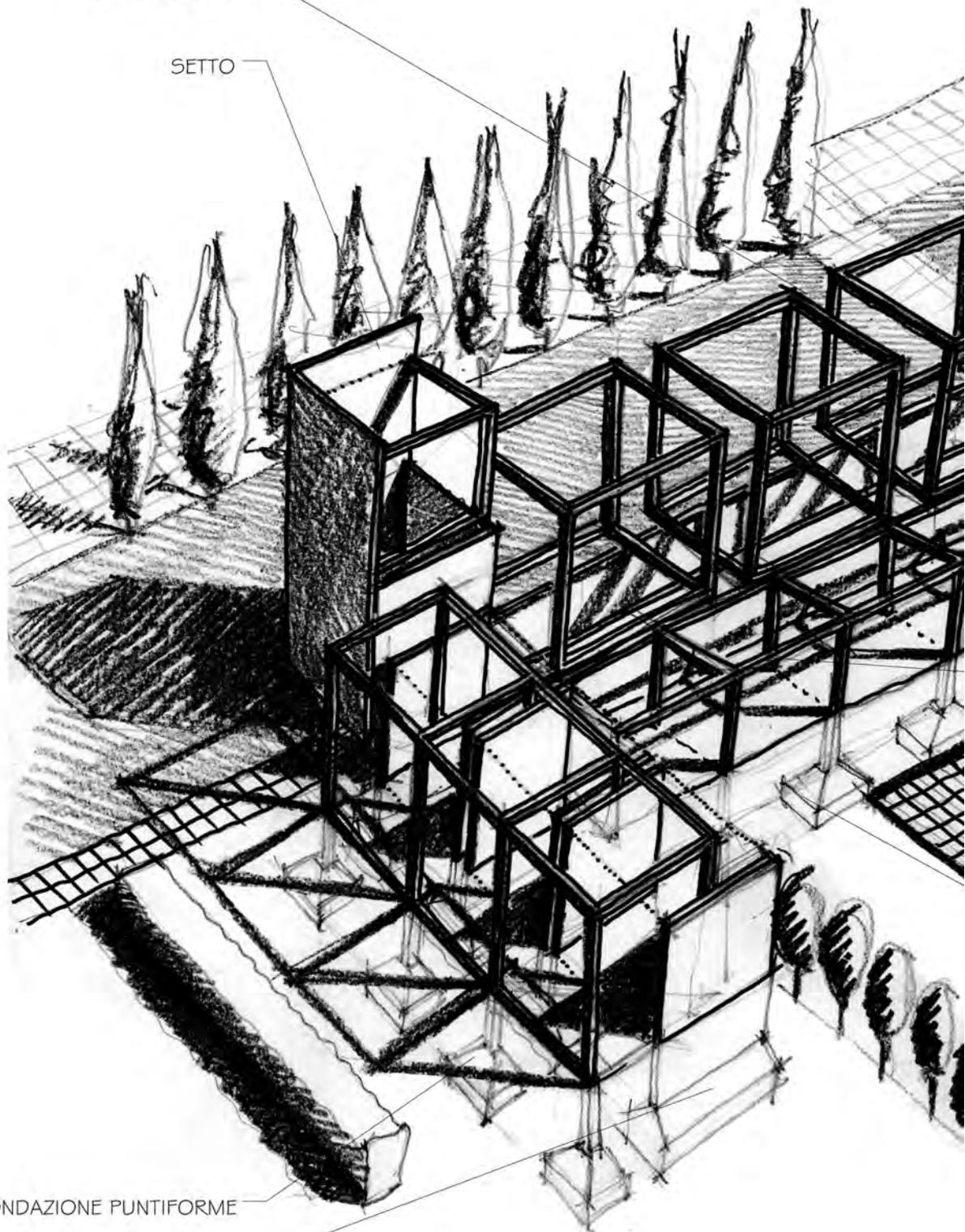
Il cubo-telaio è un modulo totale di blocchi tipologici ripetuti: le logge, le scale ed i parapetti che esprimono un linguaggio determinato e razionale del complesso, dai definiti spazi serventi e serviti.



Tadao Ando, *Festival, Naha, Okinawa, 1984*

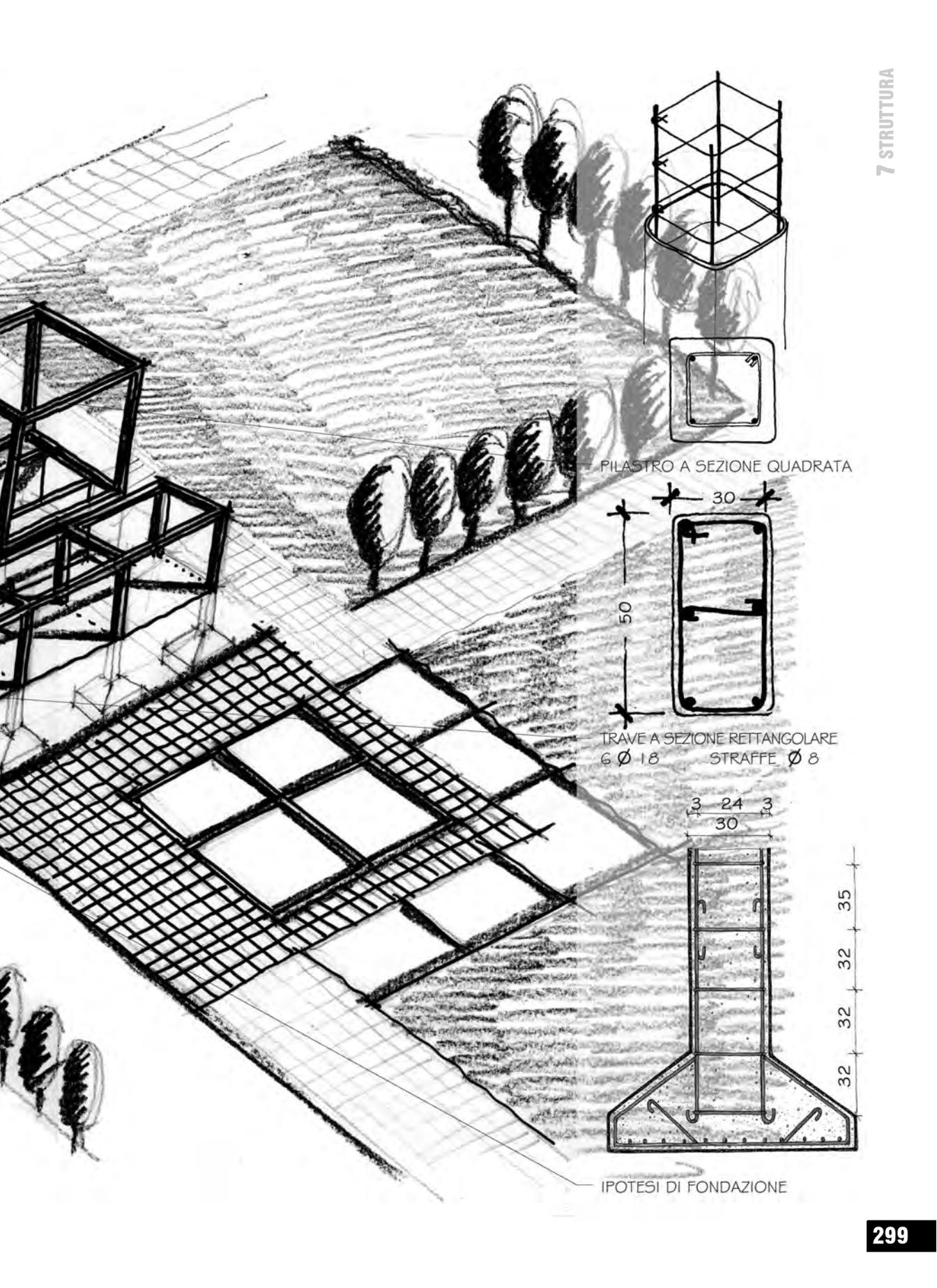
TRAVI E PILASTRI

SETTO



FONDAZIONE PUNTIFORME

FONDAZIONE CONTINUA



PILASTRO A SEZIONE QUADRATA

TRAVE A SEZIONE RETTANGOLARE
6 Ø 18 STRAFFE Ø 8

IPOTESI DI FONDAZIONE

In quest'opera Le Corbusier adotta un sistema strutturale misto in c.a. e prefabbricato.



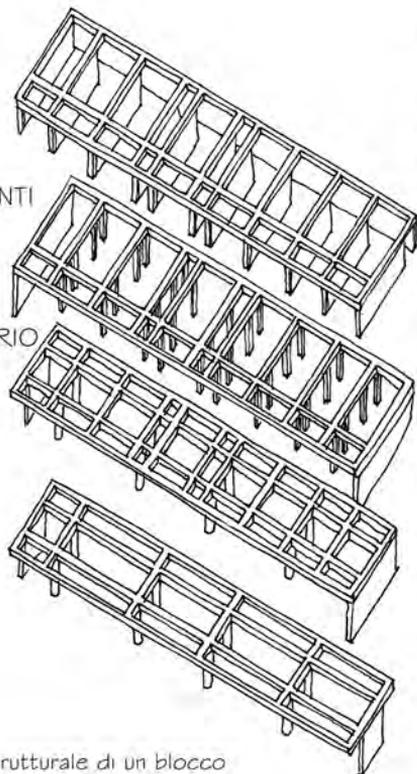
Le Corbusier, Convento di Sainte Marie de la Tourette, Evieux sur Arbresie, 1957

CELLE

INSEGNANTI

REFETTORIO

SERVIZI

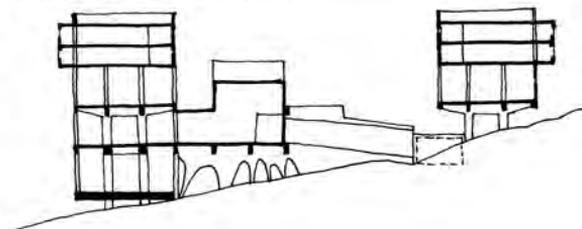


Schema strutturale di un blocco

L'edificio così pensato genera un sistema di telai che gli permettono di diversificarsi ai vari livelli, dando vita ad un repertorio dell'elemento strutturale che si avverte immediatamente in facciata.

L'ala delle celle si eleva sopra *pilotis* di c.a. che sostengono una struttura di travi principali sopra cui scaricano le solette. I *pilotis* sono in genere a sezione rettangolare, eccetto i pilastri del refettorio che sono cilindrici.

L'atrio è sostenuto da una serie di "dita" di cemento. L'orditura del telaio si interfaccia con le diverse funzioni, servizi, refettorio e celle, passando da una geometria all'altra con grande naturalezza ed armonia.



Sezione sull'atrio

Il pilastro multidirezionale

Consideriamo due pareti che si intersecano, per esempio, perpendicolarmente e immaginiamo la loro contrazione verso il punto di intersezione, ci accorgiamo che, se portiamo al limite la trasformazione, otterremo alla fine un pilastro isolato.

Questo pilastro, portato alla sua estrema sintesi formale di segmento monodimensionale, non avrà più alcuna direzione prevalente, ovvero potremmo immaginare che ne abbia infinite. Denominiamo questo elemento pilastro multidirezionale.

Potremmo pensare che un oggetto di questo tipo sia estraneo a qualunque relazione sintattica con gli altri elementi della costruzione, mentre invece esso rappresenta un elemento linguistico significativo, anche se del tutto singolare.

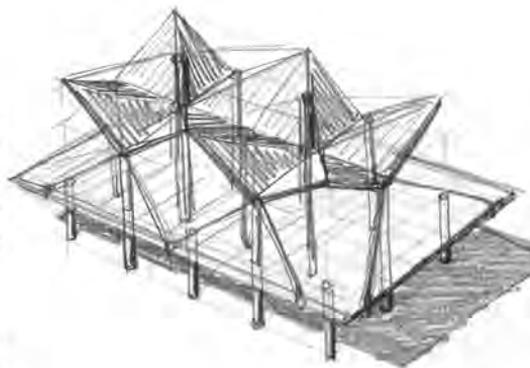
Nella sua resa materica, per semplificare l'esposizione, rappresentiamo il pilastro multidirezionale come un cilindro, ma chiaramente può assumere altre forme, come quella di un prisma, oppure quella di un profilato in acciaio.

Nella genesi della forma e nella struttura sintattica dell'architettura il pilastro multidirezionale assume il ruolo di un jolly. Innanzitutto, privo di direzionalità orizzontale, esso può assumere la direzionalità che gli deriva dal contesto in cui è inserito. In secondo luogo costituisce un punto di condensazione formale, che spesso coincide anche con un punto di condensazione dei carichi e delle linee di forza delle strutture.

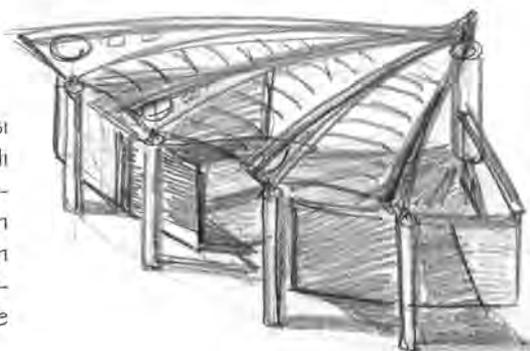
Nelle strutture reticolari il pilastro, inteso come asta multidirezionale, è l'elemento costitutivo di base, è usato nella sua massima libertà. Ma anche nelle composizioni più semplici ed ordinarie esso consente di risolvere l'accostamento di parti eterogenee, sia per forma che per struttura. È il tipico caso del cosiddetto "pilastro libero", di cui analizziamo due possibili configurazioni.

Pilastro libero esterno

Nel caso del pilastro libero esterno, l'elemento si colloca all'esterno del manufatto architettonico, di solito sullo sfondo di una parete, opaca o trasparente, su cui proietta la sua ombra. Distribuito in modo seriale, richiama il linguaggio del setto. In effetti può essere interpretato come una contrazione del setto, enfatizza la sua presenza, definisce un ritmo, disegna un chiaro-scuro.



Il pilastro multidirezionale



Il pilastro libero esterno

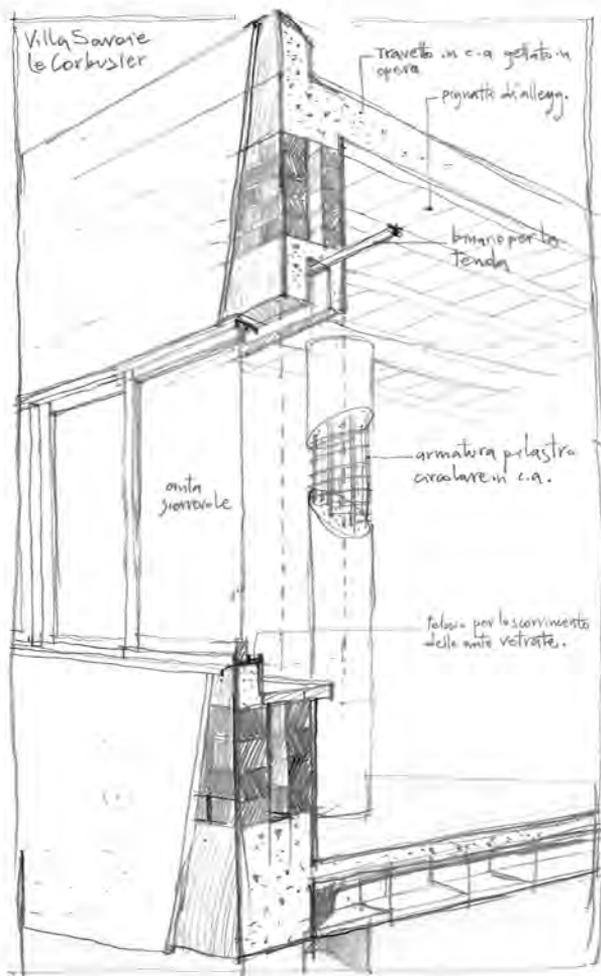
Pilastro libero interno

Il pilastro libero interno mimetizza la sua identità, almeno rispetto all'immagine esterna dell'edificio, per rivelarsi, in alcuni casi, negli ambienti interni. All'esterno si propone a supporto di un oggetto, per sottolineare lo stacco dal terreno di una parte del manufatto architettonico; inoltre esso consente di liberare la parete da vincoli strutturali (si pensi alle finestre a nastro di Le Corbusier, ad esempio in *Villa Savoie*).

All'interno si presenta talvolta come elemento isolato, con valenze scultoree, talaltra è mimetizzato nella sua fusione con altre componenti (per esempio i tramezzi). Spesso comunque, anche all'interno, scandisce il ritmo della suddivisione degli spazi.

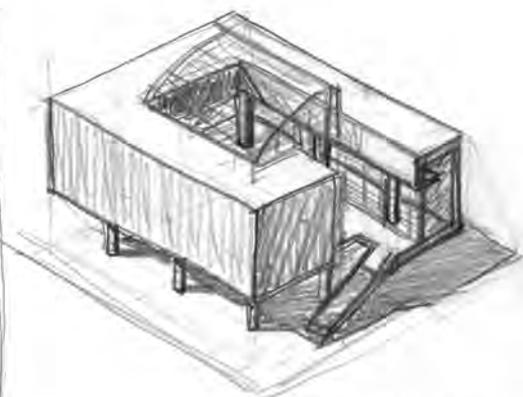
Nel caso di *Villa Savoie* si è pensato di lasciare il pilastro a vista non solo per avere una migliore libertà compositiva all'interno, ma per dare alla muratura le caratteristiche necessarie per l'isolamento termico.

Infatti qui i muri sono stati creati con uno spazio d'aria interno; la cavità è necessaria per creare delle correnti convettive all'interno della parete assicurando il drenaggio dell'acqua infiltrata e della condensa.



Le Corbusier, *Villa Savoie* a Poissy, 1929

Lo stesso fatto che poi il pilastro possa permettere di staccare da terra l'edificio e mantenerlo asciutto è un altro aspetto positivo legato al benessere ambientale.



Il pilastro libero interno

La sezione prospettica mette in evidenza le caratteristiche costruttive dell'opera.

Ipotizza poi un'eventuale armatura del pilastro circolare che, ovviamente, dovrà sostenere in parte il peso gravante del solaio.

COLLEGAMENTI VERTICALI: LE SCALE

L'esigenza di aumentare la superficie utile e di costruire edifici su più livelli necessita di particolari componenti architettoniche che assumono questa funzione particolare e che da essa traggono specifiche conformazioni.

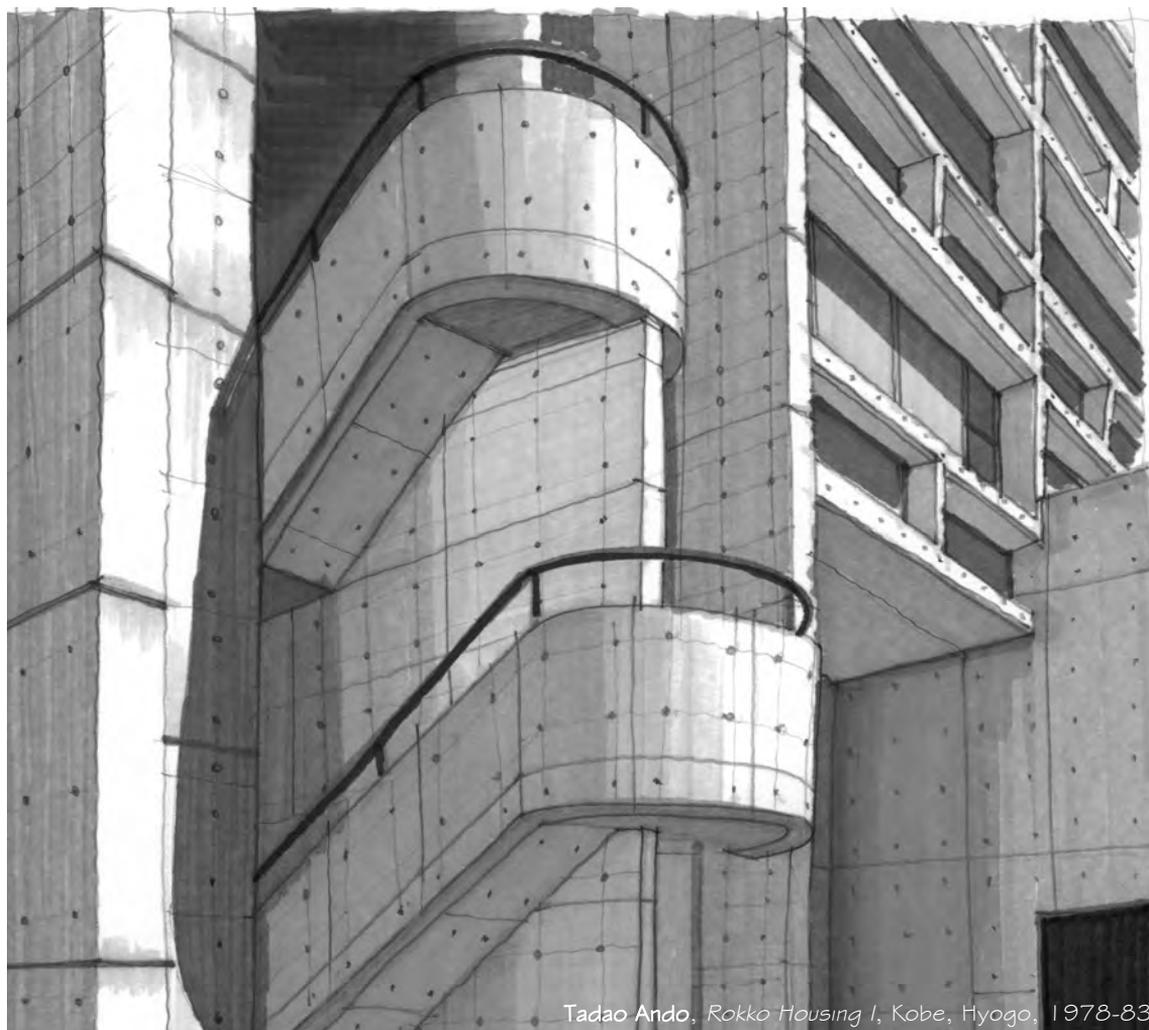
Denominiamo queste componenti "collegamenti verticali", costituiti in generale da piani inclinati, rampe, scale.

Il collegamento verticale per eccellenza è la scala, che costituisce spesso occasione, per l'architetto, di generare spazialità dinamiche di notevole impatto.

Nella maggior parte dei casi, però, la scala ha un ruolo più modesto, anche se non manca di partecipare all'articolazione volumetrica dell'edificio, anche quando questo non sia di modeste dimensioni.

Anzi, l'esperienza progettuale mostra come spesso sia più difficile collocare una semplice scala a due rampe per collegare i livelli di una casa in linea o a torre, che progettare una scala monumentale nella *hall* di un albergo.

L'esempio dell'inserimento della scala nella *Rokko Housing I* di Ando è particolarmente efficace sia dal punto di vista funzionale che compositivo.



Tadao Ando, *Rokko Housing I*, Kobe, Hyogo, 1978-83

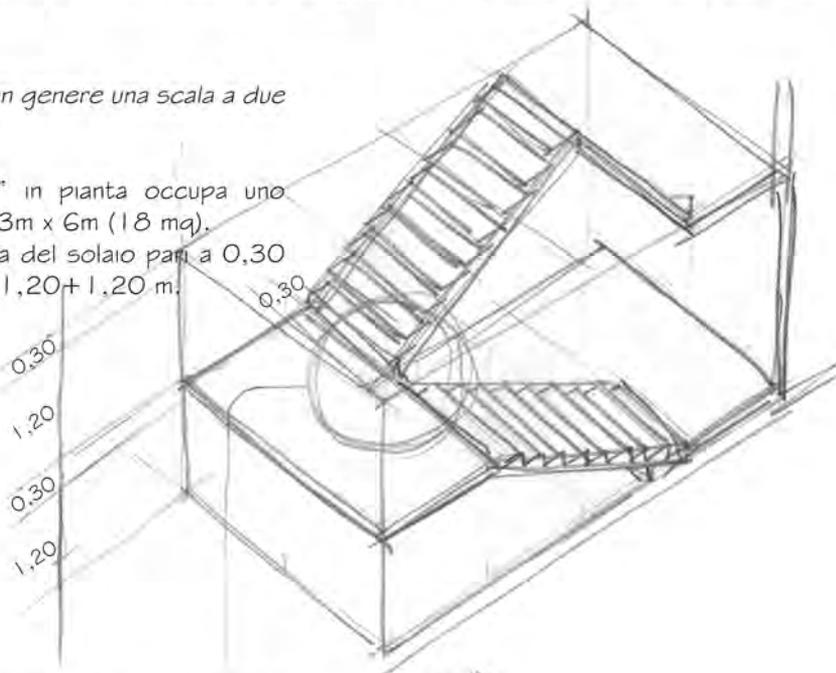
La scala a due rampe

Adottiamo un approccio pratico, anche se non privo di validità teoretica, al dimensionamento, attraverso l'uso del modulo, ad una scala a due rampe parallele (ad U), con pianerottolo intermedio, su un dislivello standard di 3,00 m circa tra due piani di un edificio adibito a civile abitazione.

Per poter verificare la correttezza del nostro dimensionamento, è la classica equazione: $2a + p = 63/65$ cm, dove a è l'alzata e p è la pedata (le pedate per ogni rampa sono sempre una in meno delle alzate); una rampa deve essere larga almeno 90 cm, 120 cm negli edifici aperti al pubblico, e non si possono superare 3 m di interpiano senza inserire un pianerottolo di sosta. Si raccomanda di prevedere, al pianerottolo di arrivo, lo spazio per il movimento e la sosta degli utenti in corrispondenza delle porte degli ascensori e degli ingressi alle unità abitative.

Quanto spazio occupa in genere una scala a due rampe?

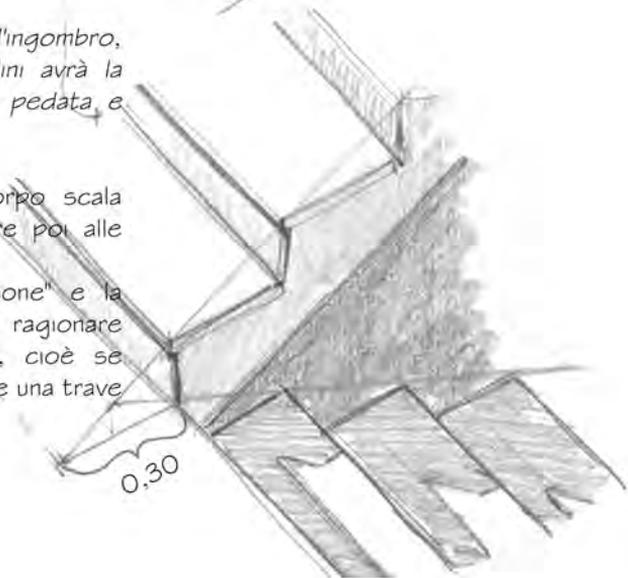
Una scala "in genere" in pianta occupa uno spazio rettangolare di 3m x 6m (18 mq). Considerando un'altezza del solaio pari a 0,30 m con un interpiano di 1,20+1,20 m.



Esiste un modo per dimensionarne l'ingombro, senza decidere subito quanti gradini avrà la scala e quale sarà il rapporto tra pedata e alzata?

Sì, consiste nel partire da un corpo scala sicuramente funzionante, da adattare poi alle specificità dell'edificio.

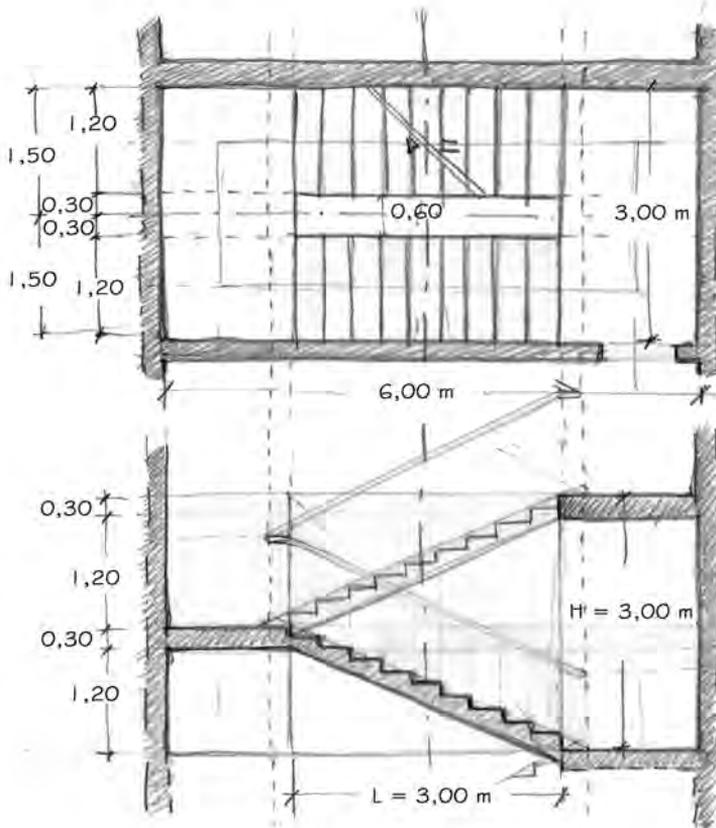
Considerando l'ingombro del "cassone" e la pendenza della soletta si dovrà ragionare sull'eventuale approccio strutturale, cioè se utilizzare una soletta rampante oppure una trave a ginocchio.



Dimensionamento di una scala a due rampe

La scala viene dimensionata su un un modulo "compositivo" cubico da 1,50 m di lato, che ne misura sia la base che l'altezza.

Esso contiene al suo interno un modulo dimensionale, ovvero senza l'ingombro della muratura, di base pari a 1,20 m ed un sottomodulo (M/4) da 0,30 m.



In sintesi:

$$MC = M + a$$

dove:

MC è il modulo compositivo

M è il modulo dimensionale

a è il sottomodulo dimensionale

L'alzata dei gradini è pari a 15 cm, mentre la pedata è 33 cm.

$$2a + p = 30 + 33 = 63 \text{ cm} \\ \text{(verificato)}$$

I dati della scala sono:

$$n \text{ (n° di gradini)} = 9 \times 2 = 18$$

$$H \text{ (altezza interpiano)} = 300 \text{ cm}$$

$$a \text{ (alzata)} = 15 \text{ cm}$$

$$p \text{ (pedata)} = 33 \text{ cm}$$

$$L \text{ (lunghezza di una rampa)} =$$

$$(n/2) \times p = 9 \times 33 = 297 \text{ cm}$$

Si tratta dunque di una scala comoda, che può essere poi adattata a varie esigenze.

In particolare possiamo adattare sia la larghezza che la lunghezza ricordando di mantenere il rapporto tra alzata e pedata.

La **larghezza** viene adattata utilizzando il modulo, ovvero attraverso l'incremento di sottomoduli, cioè posso andare di 0,30 in 0,30 m per variare sia la larghezza totale delle rampe e dei pianerottoli, che la distanza fra le rampe stesse. Quindi avrò rampe di larghezza pari a 0,90 m, 1,20 m, 1,50 m, 1,80 m e via dicendo.

La **lunghezza** della rampa, considerando che si tratta di una pendenza "comoda" per un uso abitativo, potrà essere ridotta secondo le esigenze. Anche in questo caso possiamo utilizzare il sottomodulo di 30 cm o una sua frazione per eventuali incrementi o diminuzioni, con l'avvertenza, però, che il rapporto a/p andrà verificato di volta in volta.

La scala a tre rampe

Il modello descritto per la scala a due rampe può essere preso come riferimento anche per la progettazione di sistemi di scale più complesse, infatti, si può notare come per superare un dislivello di 1,50 m occorra una rampa la cui proiezione a terra è lunga circa 3 m.

In questo modo si può avere in prima approssimazione l'idea dello sviluppo delle rampe di una scala qualsiasi.

Tuttavia bisogna tener conto del fatto che il numero dei gradini può variare, sia in relazione alla disposizione della scala, sia perché il dislivello può essere una frazione qualunque rispetto al prototipo che abbiamo illustrato; quindi il progetto della scala deve essere di volta in volta verificato quando si passa dalla volumetria complessiva dell'edificio alla definizione degli elementi costruttivi.

È comunque utile presentare una generica scala a tre rampe uguali, per il superamento di un inter-piano standard di 3 m, perché è una soluzione molto frequente e perché dà un'idea del tipo di modifiche che si devono apportare per adattarla alle esigenze specifiche.

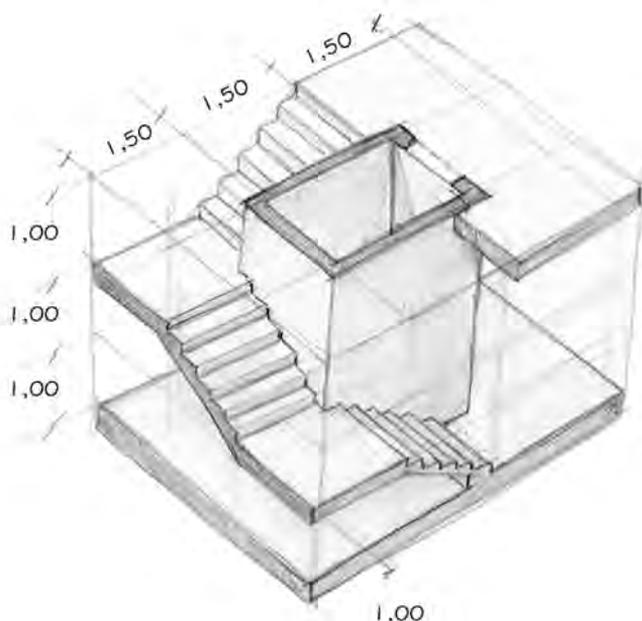
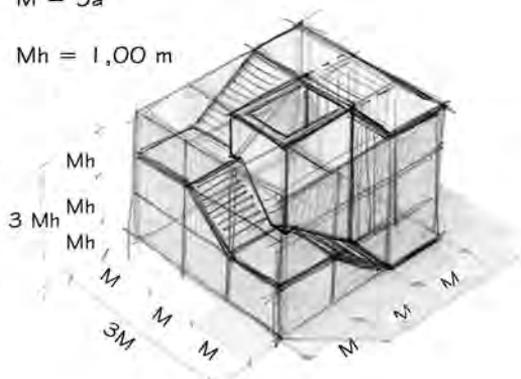
La scala è costituita da tre rampe di eguale lunghezza che si sviluppano attorno al vano ascensore, per il dimensionamento del quale si rimanda alle specifiche normative, infatti ci limitiamo a lasciare nello spazio centrale lo spazio sufficiente alla sua installazione, mentre il suo adattamento al progetto avverrà apportando le opportune modifiche secondo la struttura modulare utilizzata.

$$M = 1,50 \text{ m}$$

$$a = 0,30 \text{ m}$$

$$M = 5a$$

$$Mh = 1,00 \text{ m}$$



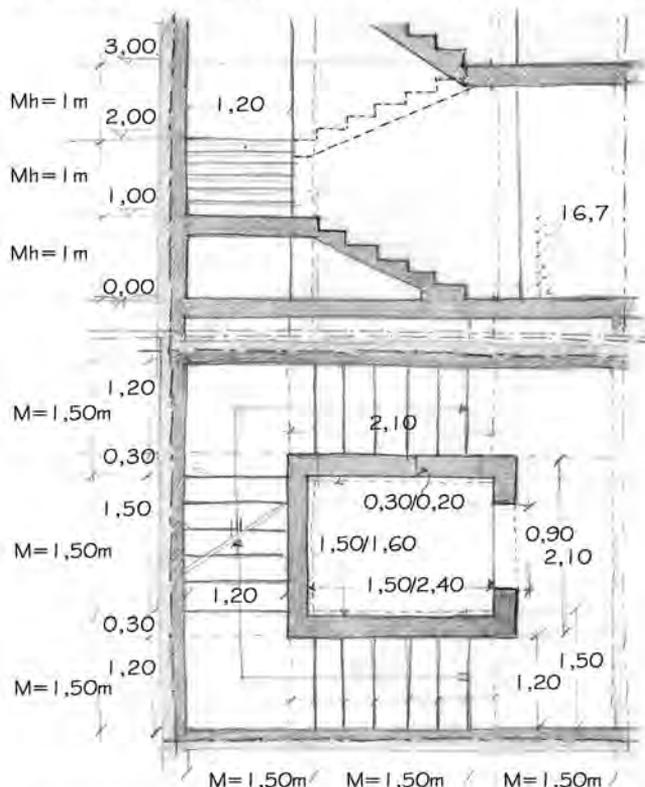
Quanto spazio occupa "in genere" una scala a tre rampe che superi un dislivello di 3 m?

Approssimativamente, una scala di questo tipo occupa una superficie di 4,50 x 4,50 m, considerando un minimo spazio di accesso da adeguare, però, sia in funzione degli spazi di distribuzione che delle dimensioni del vano ascensore.

Dimensionamento di una scala a tre rampe

Il dimensionamento è basato su un **modulo compositivo** parallelepipedo, con base quadrata da 1,50 m di lato, e l'altezza di 1 m che ne misura l'altezza.

A differenza della scala a due rampe, in quella a tre rampe il modulo compositivo ha un rapporto con il modulo dimensionale più complesso; tuttavia anche in questo caso il modulo dimensionale di base è pari a 1,20 m ed ha un sottomodulo da 0,30 m.



In sintesi:

$$MC = M + a$$

dove:

MC è il modulo compositivo

M è il modulo dimensionale

a è il sottomodulo dimensionale

L'alzata dei gradini è pari a 16,7 cm, mentre la pedata è 30 cm.

$$2a + p = 33,4 + 30 = 63,4 \text{ cm} \\ (\text{verificato})$$

I dati della scala sono:

$$n \text{ (n° di gradini)} = 6 \times 3 = 18$$

$$H \text{ (altezza interpiano)} = 300 \text{ cm}$$

$$a \text{ (alzata)} = 16,7 \text{ cm}$$

$$p \text{ (pedata)} = 30 \text{ cm}$$

$$L \text{ (lunghezza di una rampa)} = \\ (n/2) \times p = 9 \times 30 = 270 \text{ cm}$$

Anche in questo caso posso adattare la larghezza e la lunghezza, utilizzando incrementi e diminuzioni in funzioni del sottomodulo, sempre nel rispetto del rapporto a/p .

La **larghezza** ha incrementi di 0,30 m per variare sia la larghezza totale delle rampe e dei pianerottoli, che la larghezza del vano ascensore. Le rampe misureranno 0,90 m, 1,20 m, 1,50 m, 1,80 m e via dicendo, e dimensione lorda (compreso il muro perimetrale) del vano ascensore di 2,10 m, 2,40 m, 2,70 m ecc.

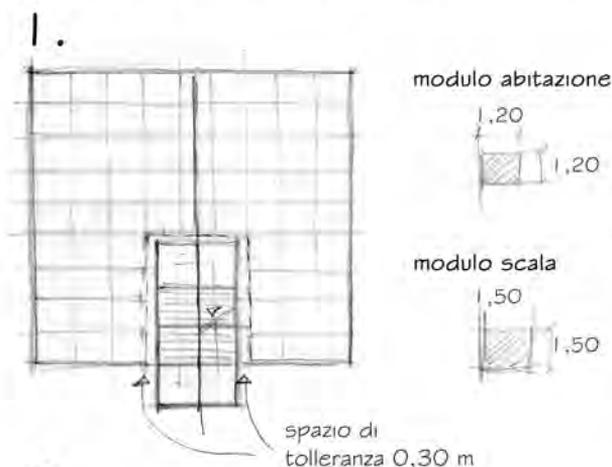
La **lunghezza** della rampa dipende dalla pedata, quindi la rampa e dunque la sua proiezione a terra potranno essere aumentate o leggermente ridotte secondo le esigenze.

Anche in questo caso si può tenere come punto di riferimento il sottomodulo di 30 cm o una sua frazione, con l'avvertenza, però, che il rapporto a/p andrà verificato di volta in volta con la solita formuletta.

Nella scala a tre rampe di esempio, il modulo in altezza $Mh = 1 \text{ m}$ è differente da quello in pianta (1,50 m). In questo caso viene superato il dislivello di 1 m (Mh) con una frazione di rampa lunga 1,50 m (M), mentre nel caso precedente, per superare 1,50 m occorre una rampa lunga 3 m; come si vede non c'è proporzionalità, ma questo dipende dal numero di gradini e da rapporto a/p (alzata/pedata).

Rapporto tra il modulo del corpo scala e quello dell'edificio

La scala a due rampe occupa un volume costituito da $2 \times 4 \times 2$ moduli compositivi (MC), in tutto 16 moduli cubici, di 1,50 m per lato, mentre quella a tre rampe è inscritta in uno spazio definito da un accostamento di $3 \times 3 \times 3$ moduli compositivi (MC) in prima approssimazione, accostati come nel disegno, in cui si possono inscrivere le rampe ed i pianerottoli, senza conoscerne precisamente le misure ed il numero di gradini.

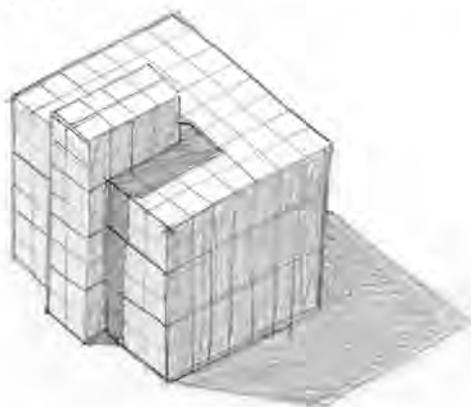


- 1.
- il modulo dell'abitazione è diverso da quello della scala;
 - il raccordo fra le due griglie è dato da uno spazio di tolleranza basato sul sottomodulo $a = 0,30 M = M^*/4 = M^*/5$.

dove:

M = modulo dell'abitazione
 M_s = modulo della scala

2.



2.

- il modulo dell'abitazione è uguale a quello della scala;

Vantaggi: la scala è perfettamente integrata sulla griglia modulare dell'abitazione.

Svantaggi: l'ulteriore calibrazione della scala è molto limitata e, in caso di estensione dell'elemento, bisogna andare ad agire sul volume dell'abitazione.

Il sistema adottato consente di inserire il corpo scala in una varietà di composizioni volumetriche, basate su griglie modulari molto diverse, perché è in grado di integrarsi sia in sistemi basati sui multipli e sottomultipli del metro, che in quelli che adottano il modulo da 1,20 metri e suoi multipli e sottomultipli.

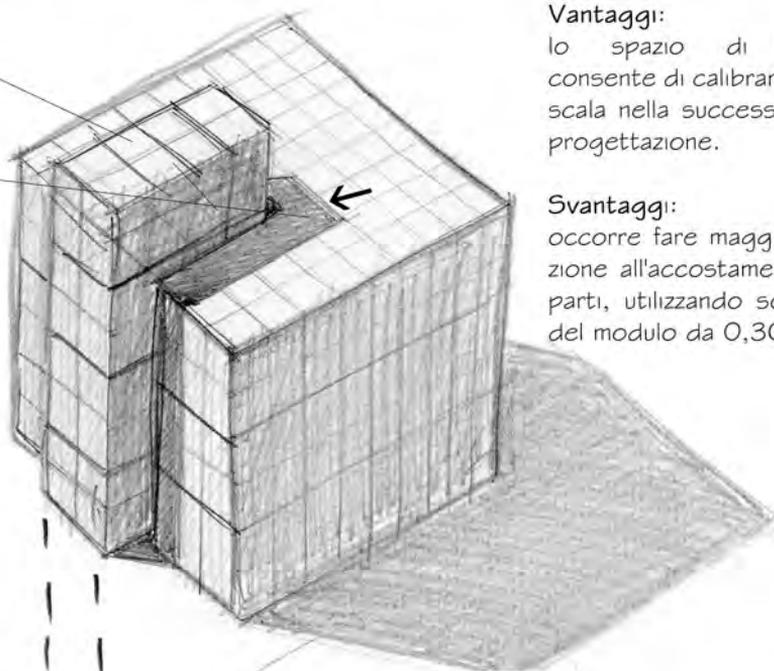
Inoltre, esso permette di modellare anche il volume della scala con le metodiche della trasformazione e dell'estrapolazione, garantendo una ragionevole coerenza dimensionale e dunque la possibilità che quel volume possa, con pochi adeguamenti, accogliere una scala funzionante e in linea con gli standard e le normative.

In questo caso, le modificazioni devono avvenire facendo molta attenzione, perché la funzionalità della scala può essere compromessa da soluzioni molto complesse, che ne deformano eccessivamente gli elementi costitutivi (es.: i gradini, i pianerottoli intermedi, ecc.), oppure che ne impediscano un agevole utilizzo.

Come estrapolare il corpo scala per avere un guadagno solare mirato?

CORPO
SCALA

SCARTO DI
0,30 m



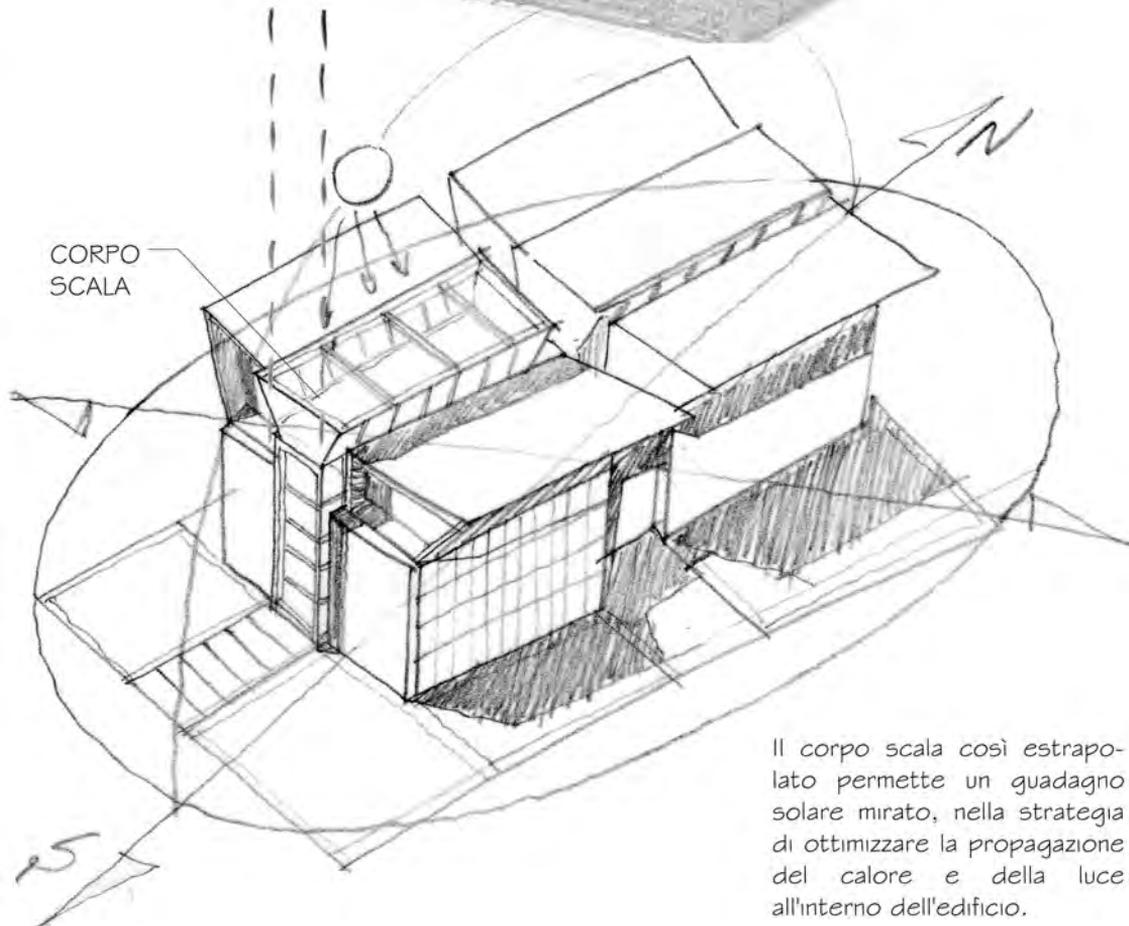
Vantaggi:

lo spazio di tolleranza consente di calibrare meglio la scala nella successiva fase di progettazione.

Svantaggi:

occorre fare maggiore attenzione all'accostamento fra le parti, utilizzando sottomultipli del modulo da 0,30 m.

CORPO
SCALA



Il corpo scala così estrapolato permette un guadagno solare mirato, nella strategia di ottimizzare la propagazione del calore e della luce all'interno dell'edificio.

In effetti, pensare in questa maniera sarebbe un po' forzante, cioè tralasciando l'aspetto del dimensionamento strutturale, perché il passo strutturale dovrebbe essere dettato da un insieme di fattori che interagiscono tra loro.

I diversi carichi trasmessi dai solai alle travi e quindi ai pilastri determinano sia la dimensione dei pilastri che la loro distanza. Il criterio quindi di stabilire il passo strutturale è dettato da un insieme di fattori che legano sia l'aspetto distributivo che quello di dimensionamento.

Esiste un passo strutturale ottimale adatto a più tipologie di diverse superfici?

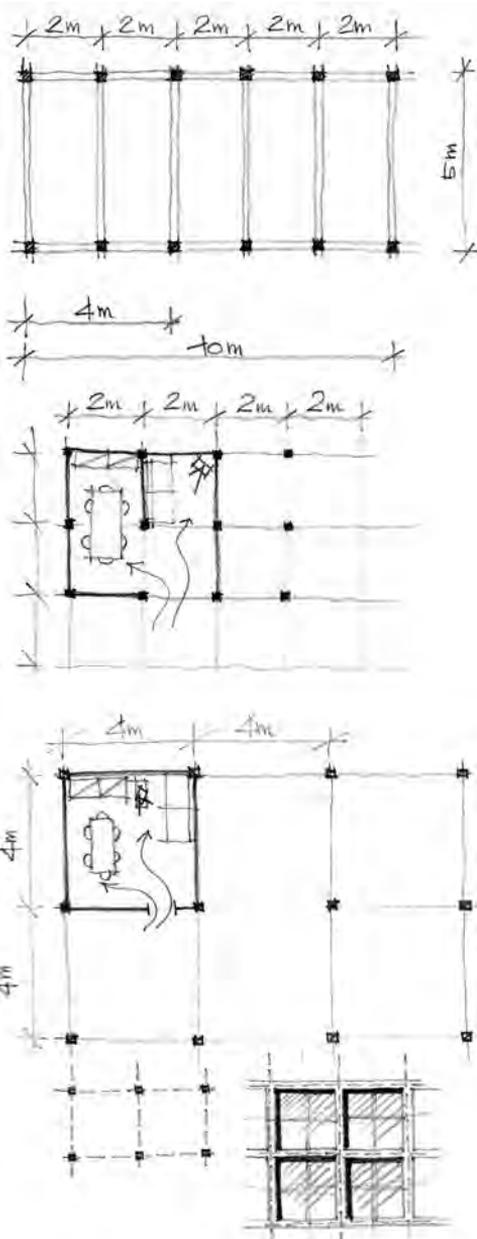
Questa misura dovrebbe permettere una buona distribuzione interna di tramezzi e pareti divisorie, quindi da questo si evince che avendo un passo ridotto, ad es. 2,00-2,50, si avranno più difficoltà a disegnare uno spazio interno senza essere obbligato a rispettare una cadenza dei pilastri decisamente vincolante.

Immaginate gli ambienti che si creerebbero, magari con la presenza di una bucatina, verrebbero sottratti ai 2,00 altri 0,80 ne rimarrebbero circa 1,20 di parete utile, in pratica delle celle. L'alternativa è quella di utilizzare un vano con un doppio passo 2,00+2,00 cioè 4,00 in questo caso il pilastro cascherebbe in mezzo alla stanza, quindi sarebbe opportuno scegliere un sistema costruttivo di tamponatura, che non ci crei problemi per distribuire al meglio lo spazio.

Ovviamente c'è anche un altro fattore determinante che condiziona il dimensionamento del passo strutturale e cioè la possibilità di utilizzare diversi sistemi costruttivi.

Pertanto occorre definire, in sede di progettazione, gli assi strutturali indicando chiaramente le dimensioni e l'ingombro delle strutture portanti previste e tenendo conto del fatto che in ogni caso deve essere assicurato il mantenimento delle superfici nette abitabili di progetto. A tal fine dovrà essere verificata caso per caso, ed opportunamente indicata la possibilità di variare le dimensioni dei corpi di fabbrica degli edifici, con riferimento agli strumenti urbanistici vigenti ed alle norme di capitolato.

Sarà inoltre opportuno adottare maglie strutturali il più possibile unificate, nell'ambito delle quali dovrà essere in ogni caso assicurata un'adeguata flessibilità di suddivisione degli alloggi.



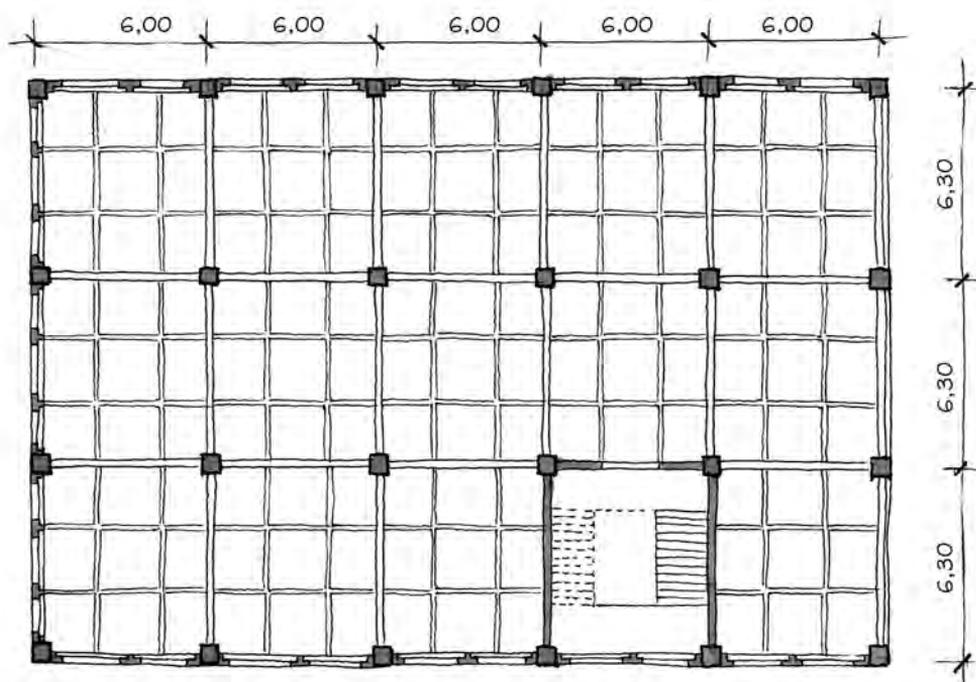
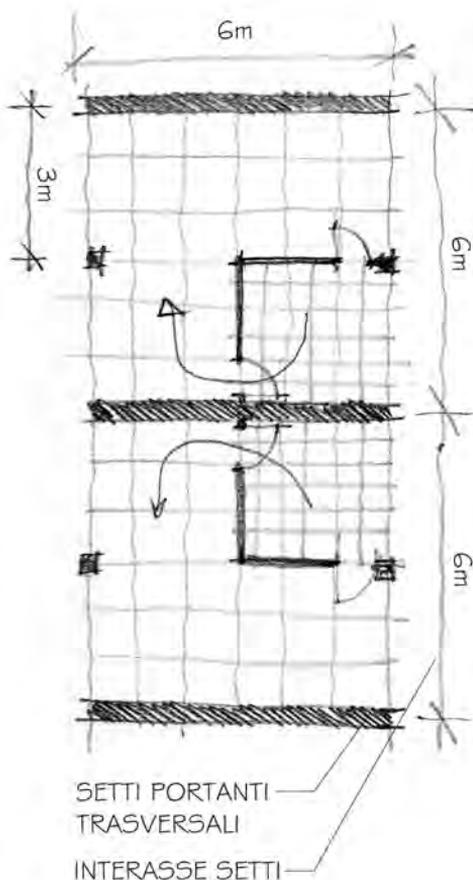
Il passo 6x6

A titolo d'esempio abbiamo riportato degli schemi basati sull'utilizzazione di maglie strutturali della luce di circa 3,00 m e 6,00 m d'interasse: le soluzioni si riferiscono alle soluzioni più vincolanti, a setti portanti trasversali, eseguiti in opera o prefabbricati, ma risulta evidente la possibilità di utilizzare strutture tradizionali, sia in muratura sia di tipo intelaiato.

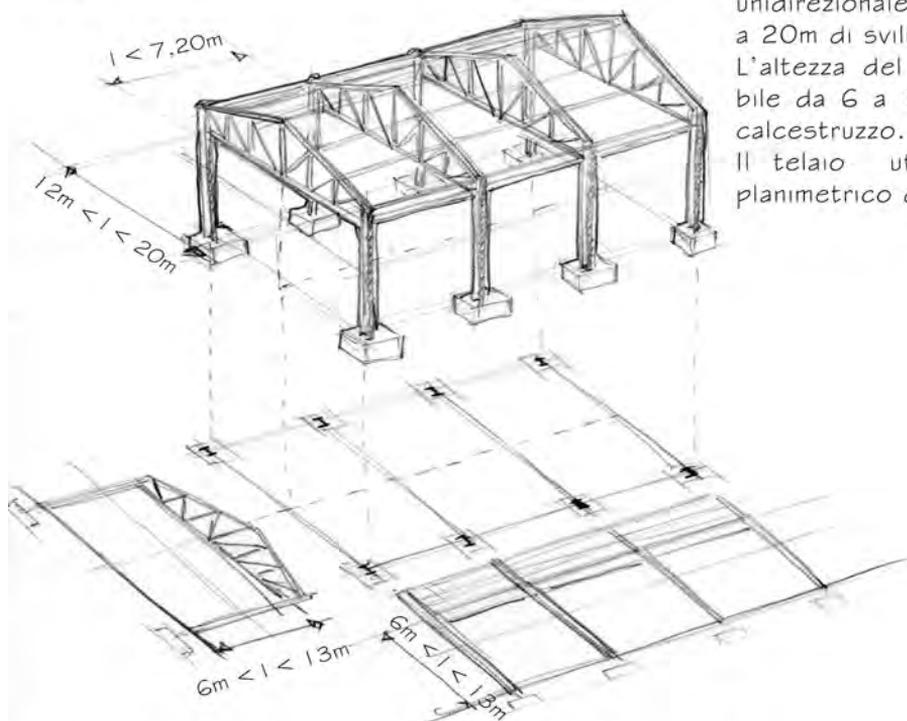
Occorrerà poi tener conto, in sede di progettazione, delle esigenze d'isolamento termico ed acustico degli alloggi.

I solai di copertura e quelli di calpestio degli alloggi realizzati al disopra dei piani cantinati o porticati dovranno essere opportunamente isolati, aumentandone convenientemente lo spessore.

Si ricorda a tale proposito che, ai fini del calcolo dell'altezza virtuale, le direttive considerano uno spessore convenzionale di solaio pari a 25 cm. Quindi tutti questi presupposti tecnici dimensionali andranno sicuramente ad influenzare la scelta dell'interasse strutturale ed i suoi limiti progettuali.



A.

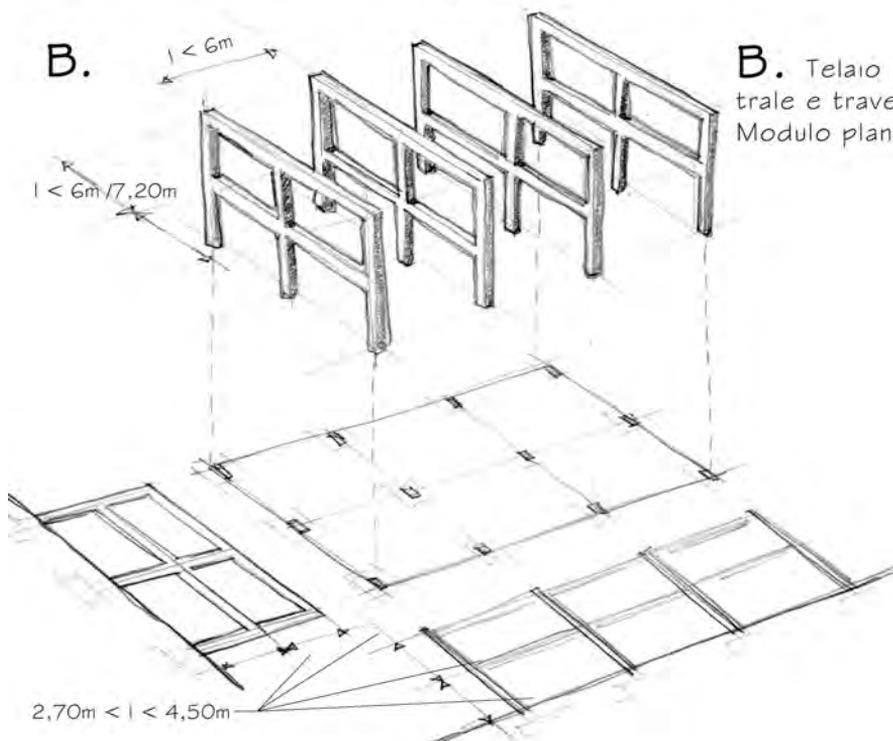


A. Telaio a capriata/traliccio, unidirezionale, con luce da 12 a 20m di sviluppo.

L'altezza del pilastro è variabile da 6 a 12m, in acciaio o calcestruzzo.

Il telaio utilizza un modulo planimetrico di 7,20 x 12m.

B.



B. Telaio con pilastro centrale e trave.

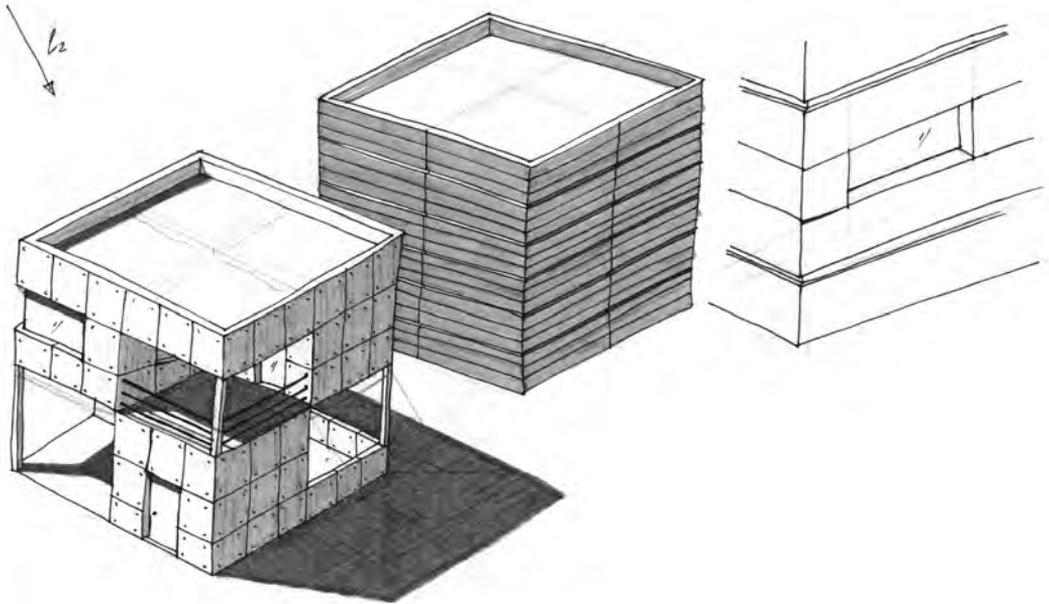
Modulo planimetrico 6 x 6m.

Mimetizzare o evidenziare

Se ho un sistema strutturale puntiforme su una griglia regolare, l'immagine del pilastro all'interno della pianta mi detta alcune considerazioni che dovranno riflettersi nei prospetti. La scelta di optare quindi per un sistema costruttivo (in questo caso) che non rispecchia la scelta strutturale propria, ma la rinnega la nasconde attraverso l'uso dell'intonaco o di un sistema tecnologico che contiene il pilastro, non darà la possibilità di intuire l'orditura strutturale scelta dal progettista.

Questa scelta non rafforza l'idea della pianta ma la indebolisce ulteriormente, a parte alcuni casi in cui si adotta una scelta strutturale non puntiforme ma continua.

Mentre, al contrario, l'idea di avere pilastri a vista, solai al marcapiano, coperture estradossate e quindi la maglia dei pilastri a vista nel prospetto darà la sensazione di avere un impianto planimetrico riconoscibile nella sua immediatezza e semplicità. Viceversa questo atteggiamento può essere tradito da un impianto volumetrico che non scandisce il ritmo della struttura ma lo rinnega dietro l'intonaco.



Nel caso di un'architettura piccola e di forma cubica si possono riscontrare a livello di percezione visiva delle differenze.

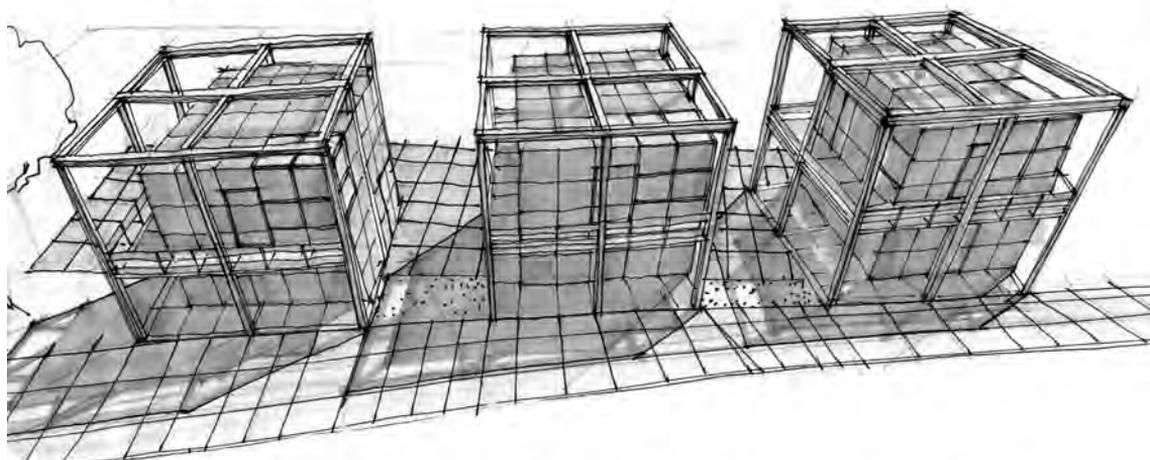
Da un lato sicuramente il rivestimento completo da un'altra forza all'architettura che sarà meno frammentaria ma più forte. Dall'altra il gioco delle articolazioni in superfici così ridotte genera un'immagine poco verificata e debole.

Bisogna comunque capire rispetto alle funzioni come guadagnare spazio, distribuire quindi idoneamente la struttura, che in casi di superfici piccole preferisce l'acciaio per esiguità della sezione e facilità di montaggio.

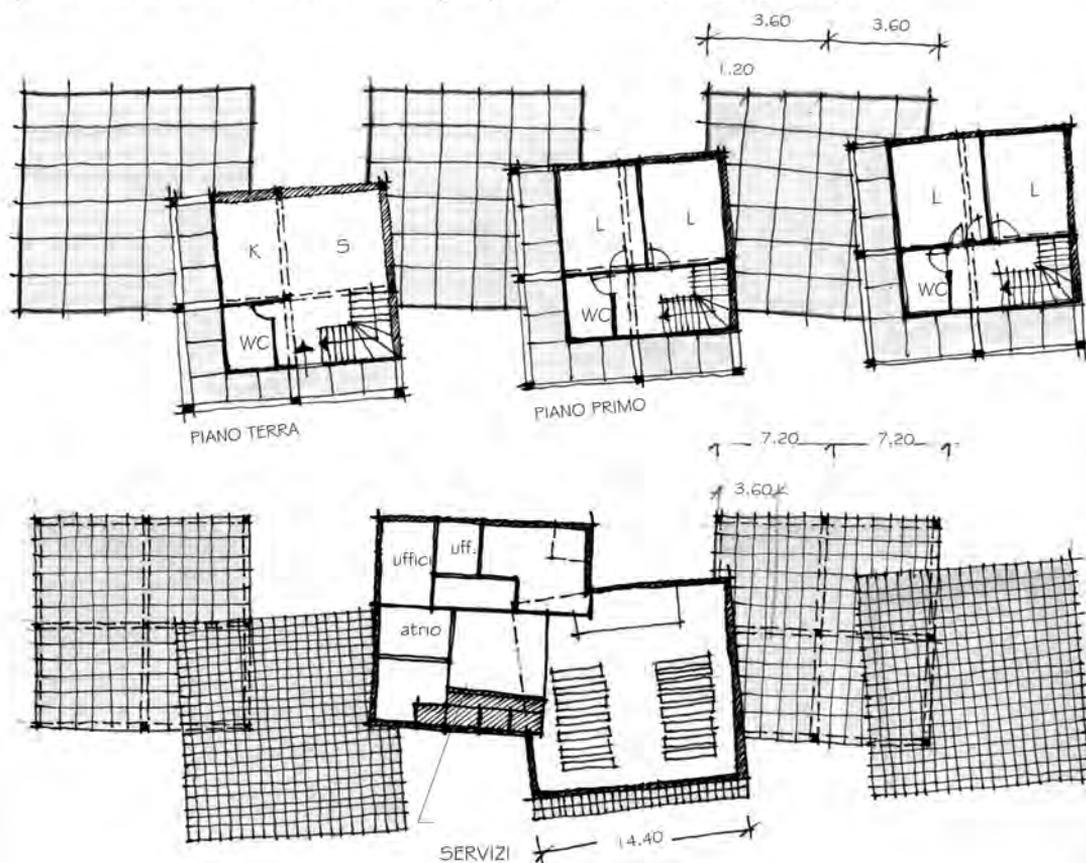
Un'altra scelta può essere quella di portare la struttura all'esterno come una gabbia trilitica tenendo all'interno l'involucro e ottenendo così una maggiore distribuzione, una pulizia delle facciate incorniciate armonicamente dagli elementi strutturali.

Un altro elemento fondamentale che può rendere la percezione visiva della struttura immediata e riconoscibile ad un fruitore è la scansione del ritmo.

Come si genera un ritmo?



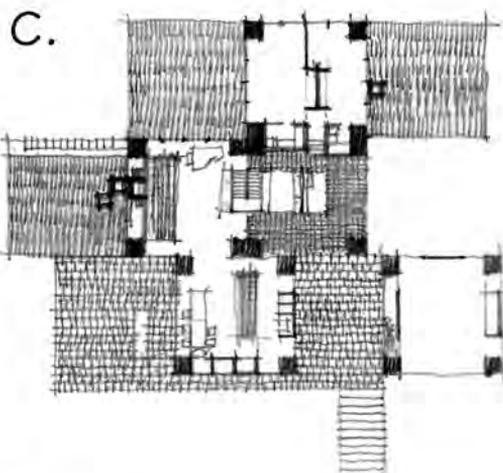
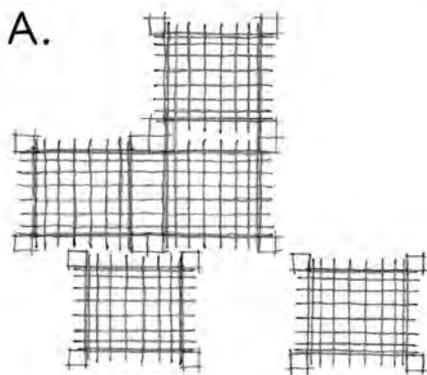
In questo caso l'adozione di un modulo strutturale di medie dimensioni (3,60 m) ripetuto sull'asse longitudinale è di facile lettura e comodo per una migliore distribuzione interna. L'arretramento degli altri tra vani genera sistematicamente quel ritmo che arricchisce lo spazio isotropo nel piano prospettico, sottolineando le funzioni primarie del progetto. Il sottomultiplo del modulo adottato (1,20 m) renderà sicuramente più agevole l'organizzazione interna degli spazi e dei suoi elementi costruttivi quali porte, finestre, scale, cavedi, ecc.



Peter Eisenman, *Carnegie Mellon Institute*, Pittsburgh, 1988-91

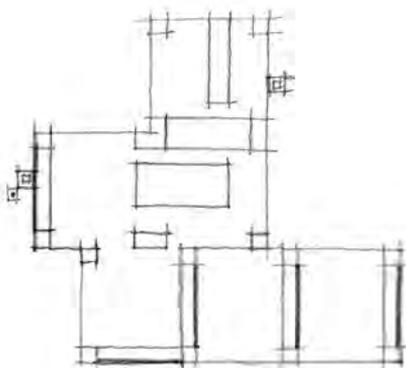
Aggregazione di moduli elementari

A. In quest'edificio possiamo notare che ogni vano è dotato di una maglia strutturale indipendente con un pilastro per ogni angolo: l'affiancarsi dei due vani determina un raddoppiamento del pilastro e un ispessimento del pieno di facciata che diventa di due metri.

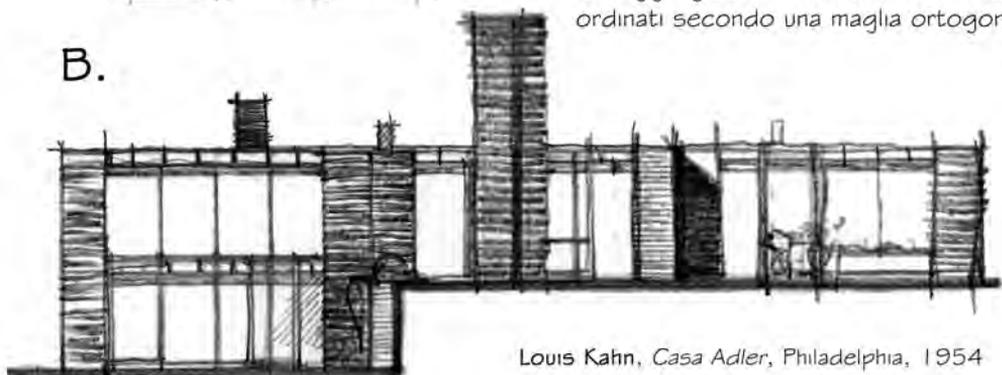


C. Tre canne fumarie progettate nello stesso materiale dei pilastri ritmano e slanciano il prospetto sottolineando con più forza la verticalità del modulo.

L'assemblaggio dei diversi ambienti è reso possibile dall'indipendenza strutturale di ognuno dei cinque moduli quadrati di cui la casa è costituita, l'impianto quindi nasce dall'aggregazione di moduli di forma quadrata ordinati secondo una maglia ortogonale.



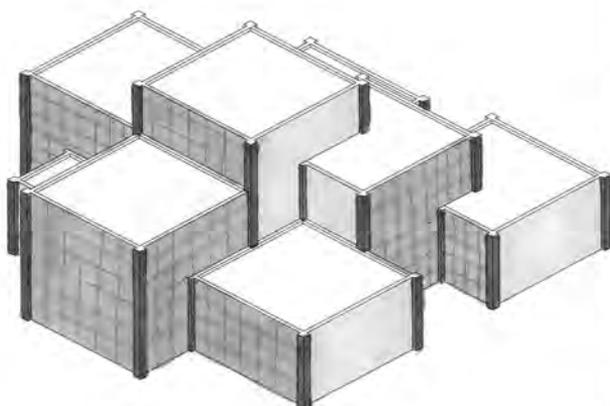
B.



Louis Kahn, *Casa Adler*, Philadelphia, 1954

B. I prospetti non sono allineati tra loro e l'arretramento dei singoli vani determina effetti d'ombra sulla facciata stessa. Il modulo compositivo diventa un gesto individuale che si disarticola per ogni spazio. Lo possiamo vedere in una fase intermedia del progetto quando Kahn sostituisce la copertura piana, formata da travi in legno, con una sequenza di tetti a falde.

1.

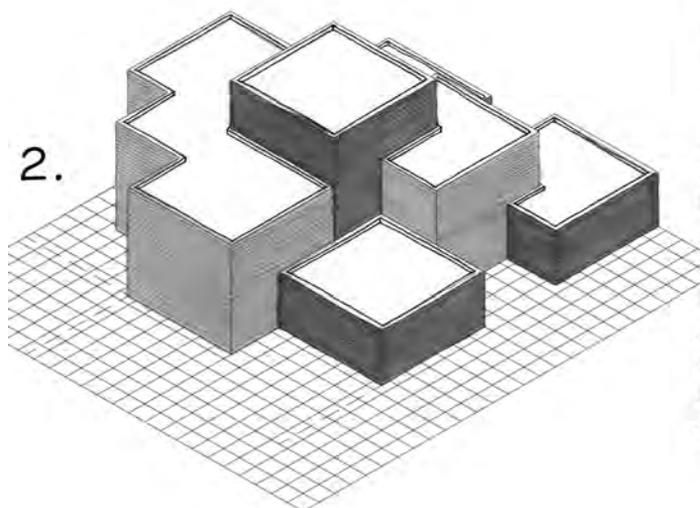


Prospetto

1.

La struttura verticale esce all'esterno enfatizzando nel prospetto lo slancio dell'altezza. I pilastri posizionati all'angolo di ogni modulo accentuano l'autonomia di ogni vano.

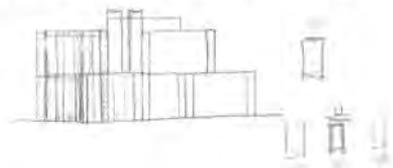
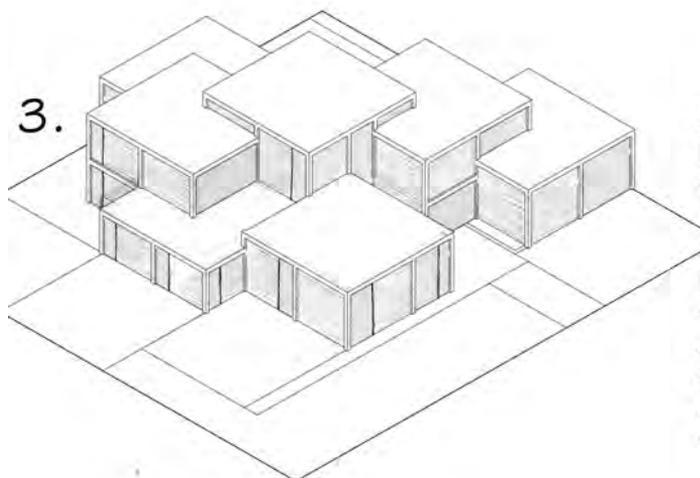
2.

Studio del
prospetto

2.

L'assenza della struttura a vista mette in risalto la plasticità delle superfici pulite ed essenziali. Le pareti in mattone facciavista si addicono a quest'architettura residenziale. L'assenza totale di bucaure è prevista per i fronti esposti a N-E.

3.

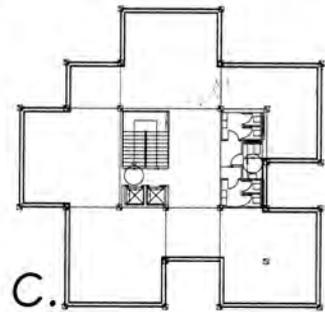
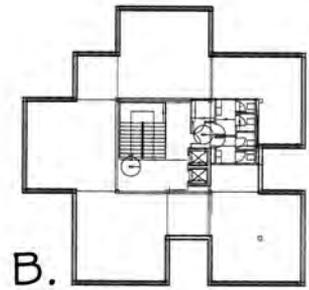
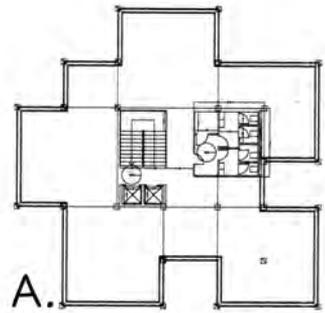
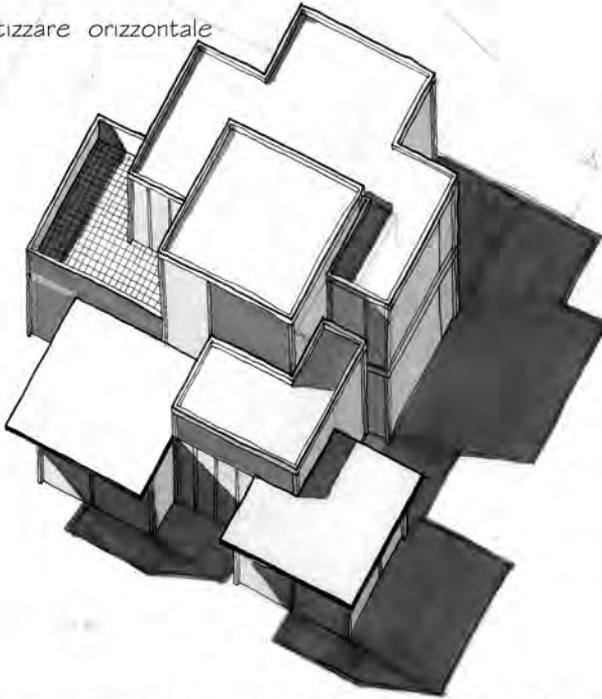


3.

La struttura esce completamente fuori dallo spazio abitabile ritagliando a filo le bucaure ampie su tutti i fronti. Il senso di leggerezza e di modularità tra pianta ed alzata qui è ancora più accentuata grazie alla progettazione modulare che fa delle misure dell'interasse strutturale un prototipo per tutti i vani.

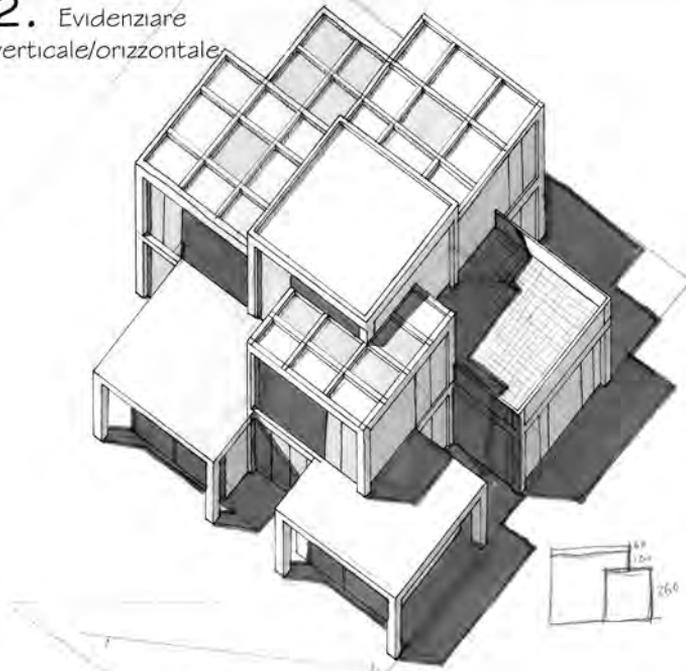
Mimetizzare/evidenziare

1. Mimetizzare orizzontale



Un esempio interessante di modularità è proprio Casa Adler per l'utilizzo di un tracciato regolare che lega la pianta all'alzato. Proponiamo queste due elaborazioni dove vengono esplicitati i concetti di mimetizzazione ed evidenziazione.

2. Evidenziare verticale/orizzontale



Louis Kahn, Casa Adler, Philadelphia, 1954

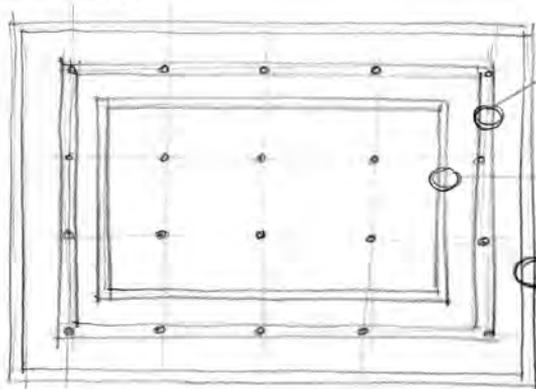
Espressività strutturale

Le immagini che abbiamo scelto mettono in risalto le differenti scelte costruttive sulla stessa composizione, generando una diversa percezione visiva della struttura; una volta con pilastri a vista, una volta facciavista, poi pilastri e travi marcapiano ecc.

L'articolazione della pianta mostra le potenzialità distributive rispetto a un arretramento della facciata rispetto ai pilastri.

Questo lo si può enfatizzare anche con un solaio di copertura aggettante che può proteggere dal sole le facciate.

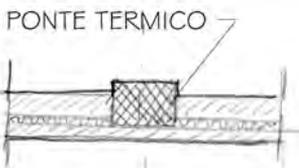
Vi mostriamo ora alcuni esempi di come le diverse scelte costruttive possano generare una espressività architettonica caratterizzante e di immediata lettura rispetto alla tecnica costruttiva adottata.



1.
Pilastro incluso nella parete esterna
2.
La parete è dietro il pilastro
3.
La parete è davanti il pilastro

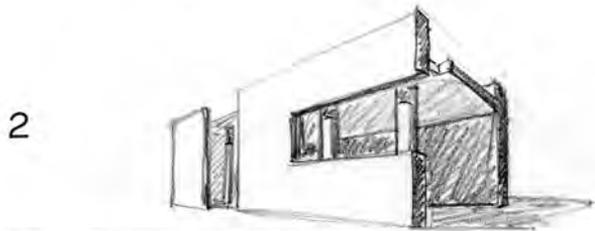


1
Omogeneità delle prestazioni termo-igrometriche

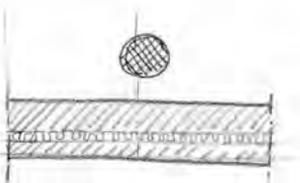


PONTE TERMICO

LIMITAZIONE NEL TRACCIAMENTO DELLE APERTURE



2
Flessibilità nel tracciamento delle aperture



3
Possibilità di controllo del soleggiamento (funzione, frangisole)



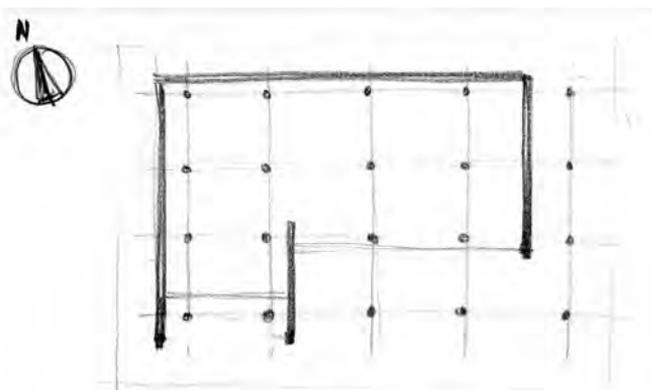
Qui di seguito riportiamo tre esempi particolarmente eloquenti di come l'espressione strutturale diventi elemento caratterizzante dell'architettura.

In queste opere la percezione dello spazio architettonico avviene attraverso la manipolazione di un suo elemento strutturale.

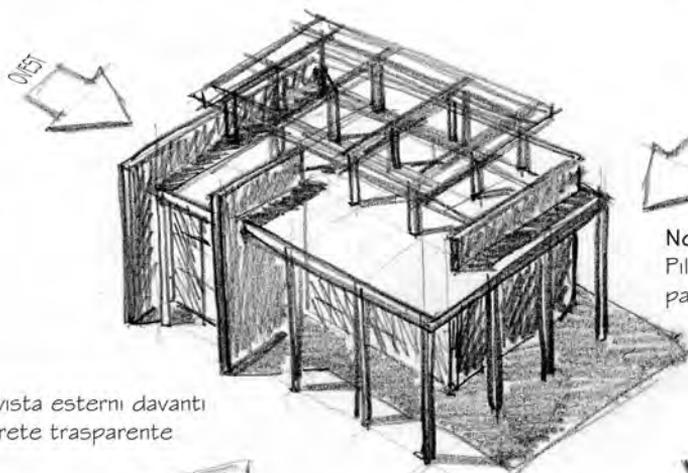
Nei *Richards Medical* Kahn compone la struttura integrando al solaio una piastra orizzontale che accoglie un sistema di condotti d'aria.

Modularmente questo è diviso in 9 sottoquadrati di travi principali e quattro quadrati in travi minori.

Questa struttura è il risultato della ricerca di Kahn nell'ottimizzare e massimizzare il sistema di prefabbricazione delle forme e dei vari giunti delle travi funzionanti ad incastro. Sicuramente il fruitore percepisce una grande forza nell'angolo d'accesso che rimarca così la programmaticità dell'intera struttura modulare.

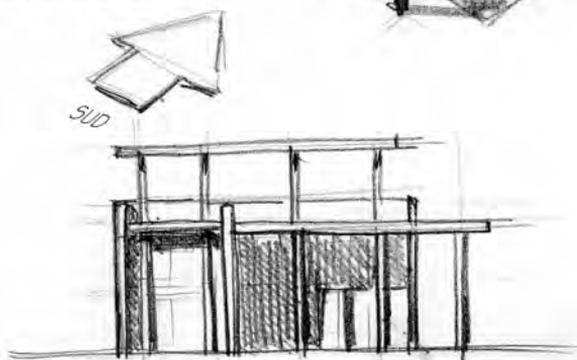


Ipotesi schematica
rapporto pilastro-parete



Nord
Pilastri interni +
parete ad alta inerzia termica

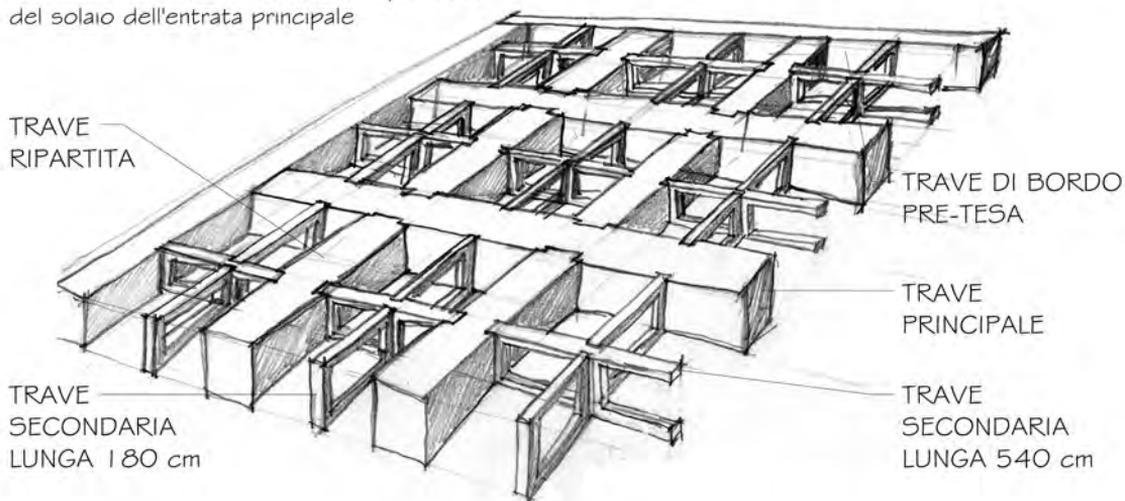
Sud
Pilastri a vista esterni davanti
ad una parete trasparente



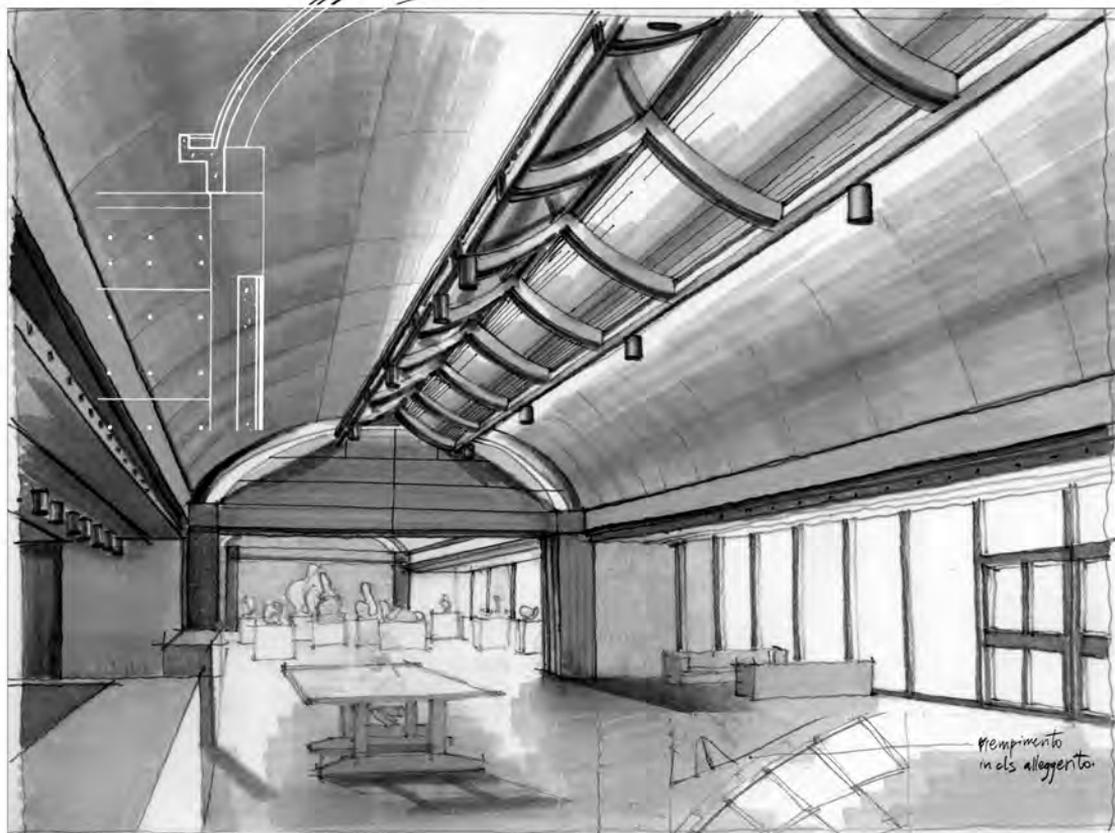
Il prolungamento del telaio
al di sopra della copertura
può creare uno strumento di
controllo del soleggiamento.



Struttura e sistemi meccanico-impianstici del solaio dell'entrata principale



La volta come elemento caratterizzante

Louis Kahn, *Kimbell Art Museum*, Forth Worth, 1966

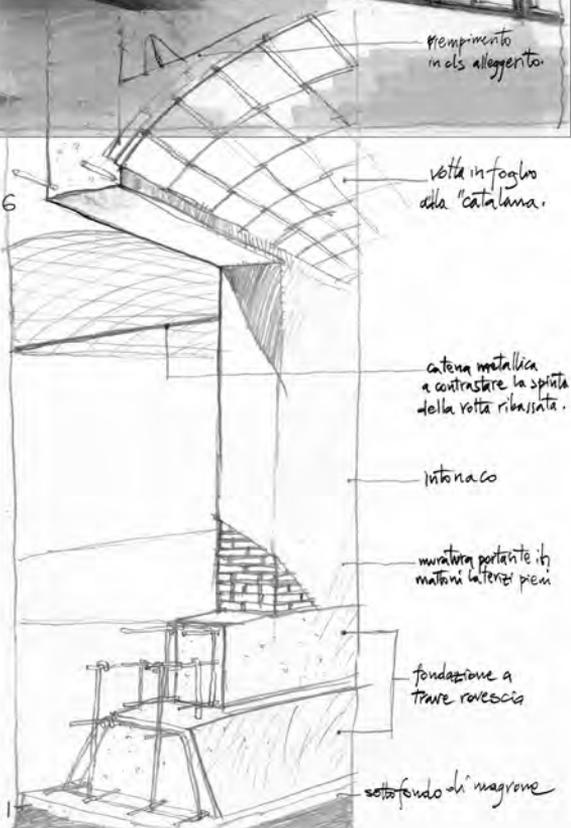
Nel *Kimbell Art Museum* la forma delle volte è piuttosto estetica che strutturale ed ha pochi precedenti nella storia.

Si regge infatti grazie alle tensioni dei cavi interni in acciaio.

La struttura è veramente dominante.

Tra una volta e l'altra troviamo dei canali in cemento con sezione ad "U"; nello spazio creato da questi ci sono due condotti per l'ingresso dell'aria, uno per ogni galleria.

Mentre nella *Maison Jaoul* di Le Corbusier la volta possiede le caratteristiche statiche a lei confacenti; spinta laterale verso il margine del muro e intercapedine areata rivestita con mattoni.

Le Corbusier, *Maison Jaoul*, Neuilly sur-Seine, 1951

riempimento in cls alleggerito.

volta in foglio alla "catalana".

catena metallica a contrastare la spinta della volta ribassata.

intonaco

muratura portante in mattoni laterizi pieni

fondazione a trave rovescia

soffitto di magrone