

Modulo 1

ELEMENTI DI MORFOLOGIA DELLE STRUTTURE

Suddivisione delle strutture in funzione del materiale:

- la muratura e il legno;
- il calcestruzzo armato;
- l'acciaio.

Obiettivi didattici:

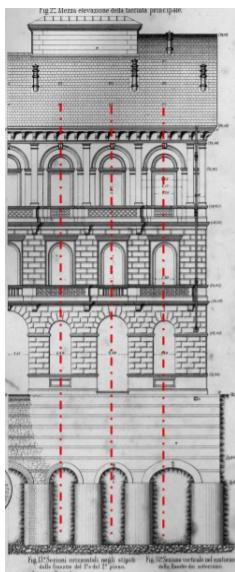
- Riuscire a leggere un organismo architettonico, a giudicarne le prestazioni meccaniche, ad un livello qualitativo, deducendolo dalla sua forma → morfologia: studio della forma
- Una volta dedotti i lineamenti meccanici della costruzione da altri aspetti, cercherò di stabilire delle relazioni causali tra il comportamento meccanico e gli altri attributi dell'architettura, per convincerci che molti caratteri (figurativi, distributivi, costruttivi di un'architettura) discendono da esigenze meccaniche.

MORFOLOGIA DELLE STRUTTURE IN MURATURA E LEGNO (dal 4000 a.C. al 1850 d.C.)

Prima dell'impiego di nuovi materiali per effetto della prima Rivoluzione Industriale (1760-1830 Inghilterra)

Analisi di edificio multi-piano destinato a funzione residenziale in **muratura e legno**

Torino - esempio di Casa umbertina da reddito



Elementi murari (prospetto) - vista prospettica dell'edificio

Proiettiamo la facciata dell'edificio su un ideale piano verticale, parallelo al piano di facciata, discosto da esso abbastanza da non "affettare" i balconi

Questo piano su cui proiettiamo il nostro oggetto architettonico interseca la terra, quando arriva alla **quota di campagna** (piano stradale), proseguendo poi per il **muro d'ambito** dell'edificio (muro perimetrale delle cantine) e concludendo con le **strutture di fondazione**.

Al di sopra del piano campagna abbiamo il piano primo, caratterizzato dai portici, seguito dal piano nobile, il secondo piano e la falda del tetto (a due falde).

Studio morfologico: evidenziato dalla linea rossa tratto punto

Nella facciata le aperture sono disegnate coerentemente, allineate sulla verticale, le une rispetto alle altre. Tra un allineamento di aperture e l'altro ritroviamo la continuità verticale del setto murario, che però non è continuo e pieno lungo tutta la facciata, ma in corrispondenza delle aperture si caratterizza di discontinuità. Le parti che invece fluiscono verticalmente, non interrotte da foratura, abitualmente vengono definiti **maschi murari** (porzione di setto murario che non conosce discontinuità).

Ordinare la facciata con direttive composite verticali ed orizzontali (piani) non dipende da un criterio puramente compositivo e formale.

L'allineamento verticale delle aperture dipende dalla necessità di provvedere a linee di discesa dei canali privilegiati, per il flusso di forze che il maschio murario deve condurre dal punto di applicazione del carico, fino alle fondazioni, e quindi trasferite al terreno.

I carichi che agiscono sull'architettura possono essere tradotti in flussi

Se le aperture non fossero allineate, il percorso che dovrebbe seguire il flusso dei carichi sarebbe più tortuoso, perché saremmo costretti a deviare periodicamente il flusso dei carichi per passare da un maschio murario all'altro. Questo è possibile solo grazie all'utilizzo di strutture adeguate alla deviazione del flusso, come l'**arco di scarico**.

Più grande è l'apertura, maggiore sarà la deviazione che dovremmo imporre ai flussi di questi carichi.

Il carattere figurativo tipico della composizione architettonica di un edificio multi-piano in muratura, (rigido allineamento di aperture e maschi murali) **non risponde già esclusivamente ad un criterio compositivo/estetico/figurativo ma risponde ad un'esigenza meccanica** (minimizzare deviazioni dei flussi dei carichi che corrono lungo i maschi murari).

Dettaglio aperture (prospetto)

In caso di aperture allineate, nonostante la loro breve distanza, è comunque necessario deviare il flusso di carico, perché la porzione di maschio murario, seppur più piccola, rappresenta comunque una forza. Ci serviamo quindi di elementi strutturali particolari: **archi** ed **archi di scarico**

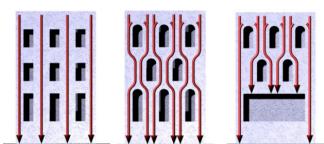
Come sono apparecchiati/disposti gli elementi lapidei che compongono la muratura?

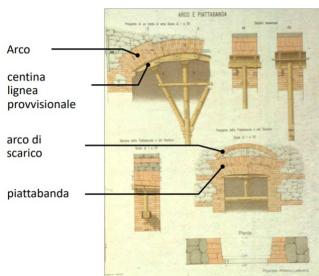
Apparecchio: disposizione degli elementi lapidei lungo il setto murario

In questo caso il setto murario è costituito da elementi lapidei naturali (pietra), tranne in alcune parti, ovvero quelle che presidiano/contornano l'apertura.

Spalle apertura: bordi liberi del setto murario che corrono la verticale dell'apertura

Sormonto apertura: elementi lapidei artificiali (blocchi laterizio) apparecchiati in maniera regolare, disposti radialmente rispetto alla geometria del settore di circonferenza che realizza la direttrice dell'arco.





Arco: speciale tipo di struttura designato alla deviazione dei flussi di carico verticali, anche minimi, che hanno luogo tra un'apertura e l'altra.

Dal punto di vista morfologico può essere considerato un elemento strutturale che conosce una **curvatura**, ed è **efficace per forma** (più è curvo e più devia il carico)

Piattabanda: arco dalla curvatura minima, quindi deviatore di flusso non efficace; per questa ragione è sormontato da un arco di scarico, che effettivamente devia il flusso di carico.

La piattabanda devia invece il flusso di carico dovuto dall'unghia di pietre che separano i due archi, quindi ha un carico minore da deviare.

In entrambi i casi, per costruire l'arco è necessario predisporre una **centina lignea provvisoria** (una struttura di legno) temporaneamente messa in opera per realizzare un appoggio all'intradosso dei mattoni che stiamo disponendo per realizzare l'arco, ed è necessario durante la costruzione, fintanto che l'arco non abbia raggiunto la sua forma finale.

Non solo quindi l'arco è struttura efficiente per forma, ma questa forma deve essere completa, altrimenti non è efficiente.

La capacità di deviare un flusso del carico dipende dal rapporto monta su luce

Monta: massima distanza tra il piano d'imposta e la linea d'asse dell'arco

Piano d'imposta: piano in cui l'arco spicca dal masso murario

Luce: distanza tra le sezioni d'imposta

Intradosso: superficie inferiore dell'elemento strutturale

Estradosso: superficie superiore dell'elemento strutturale
(può valere per l'arco e la trave)

Rappresentazione in pianta piano primo

Proiezione architettonica sul piano di proiezione orizzontale che affetta lo spazio architettonico collocando il piano ideale sezione a circa 1,20m dal piano di calpestio/quota campagna, per intercettare, non solo i setti murari che perimetrono i **vani**, ma anche le aperture (prima viste in prospetto).

L'utilizzo del vano rettangolare nasce dall'esigenza tipica degli edifici in muratura, trasposto poi senza ragione meccanica in altre tipologie di edifici attuali.

Edificio a **doppia manica**: i vani sono organizzati secondo due allineamenti longitudinali, e che per la particolare conformazione dell'edificio, arrivati al gomito, le maniche conoscono un risvolto a 90°.

I vani sono regolari nell'**orientamento compositivo** e nelle dimensioni, ed ospitano funzioni diverse.

Distinguiamo il **vano scala**, grazie alla proiezione orizzontale delle rampe (tratti indicano l'alzata di ogni gradino).

I setti murari, di cui distinguiamo le tracce, perimetrono i vani. Altri sono disposti in piani verticali perpendicolari ai precedenti. Il vano, risulta essere quindi retto, perché retti sono i setti murari fra di loro. Il fatto che le maglie siano regolari per **dimensioni** ha un implicazione dal punto di vista distributivo dell'architettura. Questi edifici, hanno una distribuzione "**an filad**" per accedere ad un vano, e necessario attraversare il precedente. → questo risulta essere un vincolo distributivo notevole per l'architetto.

L'architettura/muratura è soggetta non solo a carichi verticali ma anche **orizzontali** (es. espressi dal vento) Per presidiare l'edificio a tutte le direzioni dei flussi di carico è necessario disporre anche dei setti murari in una direzione perpendicolare ai primi.

E' quindi necessario che i setti murari siano disposti almeno in due direzioni ortogonali (vani rettangolari). Ma non è sufficiente perchè i setti devono garantire che siano ben **ammorsati** gli uni agli altri.

La seconda condizione, meno impattante sulla concezione architettonica del volume, ma che è molto impattante sulla costruzione è che gli elementi lapidei che costituiscono i due setti ortogonali fra di loro siano convenientemente apparecchiati in corrispondenza dell'intersezione dei due setti murari, perchè realizzino un **efficace trasferimento del flusso di carico** da un setto all'altro.

Quindi il canone dei vani rettangolari, non risponde ad un esigenza di tipo estetica/distributiva, ma meccanica.

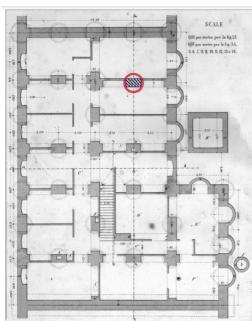
Ingombro strutturale: parte di volume dell'edificio occupata dagli elementi strutturali

Negli edifici in muratura si parla di 50/80 cm di spessore, ed è anche grazie a questo spazio che in questi edifici le canne fumarie sono integrate nei setti murari (cavedio: rettangolo bianco in pianta).

Fuoritraccia: impianti a vista (illuminazione, riscaldamento, fili connessione)

Pianta delle fondazioni discontinue rappresentate attraverso circonferenze tratteggiate e linee rette

Morfologicamente, possiamo osservare che date le dimensioni dei setti murari, l'architetto cerca di ridurne l'ingombro. Questo implica **aperture per l'aero-illuminazione** (piano superiore), mentre nell'area inferiore per dividere una cantina dall'altra si realizzano i **muricci** (muri che assolvono la funzione di dividere il vano, ma che non hanno una funzione meccanica).



Notiamo che il setto murario si riduce a maschi murari "puntiformi", (si riducono quasi a pilastri/colonne), tranne il **muro d'ambito** (controterra) dove abbiamo bisogno di garantire la continuità del setto murario.

Struttura di fondazione è coerente con la diversa morfologia, **nastriforme e puntiforme**.

Laddove il maschio murario è **ridotto**, la sua fondazione è un **pozzo** (elemento strutturale che raggiunge livelli profondi del suolo, dove il suolo ha un adeguata capacità di accogliere il flusso di carico)

Laddove il setto murario è **continuo**, anche la fondazione è **continua**.

- Fondazione a pozzo, **puntuale**: fodera in mattoni e riempimento in calcestruzzo

Si scavava il pozzo, man mano che si scavava per evitare che le pareti franassero, la superficie veniva foderata con fodera di mattoni e il pozzo veniva riempito con un legante, malta ed elementi lapidei. Corrisponde a strutture di elevazione (o colonne o pilastri).

- Fondazione a **pozzo**, : muratura a sacco

Pianta delle **fondazioni continue**

- Fondazione continua con murature di spessore costante (a)
- Fondazione continua con parametri verticali e successive riseghe, a spessore variabile per risparmiare materiale (b)

Coerenza tra impianto figurativo, distributivo e organismo strutturale, ma anche tra gli elementi strutturali che realizzano l'organismo strutturale.

Sezione longitudinale dell'edificio (piano sezione verticale, che taglia l'edificio nella manica e coincide con le sue direzioni longitudinali)

Osservazioni morfologiche:

- il vano scala non è diverso dagli altri vani, ma lo distinguiamo solo per la rampa scala.
- integrazione funzionale della canna fumaria nel setto murario.
- il setto murario inferiore delle cantine è più ingombrante del setto murario superiore, flusso incrementato da canali adduttori, più si procede verso il basso più ogni flusso trasferisce il carico nei maschi murari, quindi aumenta l'intensità del flusso verso il basso.
- il muro d'ambito (che separa interno ed esterno) non mostra canne fumarie, eppure vi è un'integrazione funzionale: il setto murario è allo stesso tempo elemento strutturale, ed anche elemento che separa l'interno dall'esterno, e che quindi assicura prestazioni come l'isolamento termico e acustico (prestazioni non strutturali).
- il progressivo aumento dello spessore del setto murario dall'alto verso il basso, risponde esigenza meccanica (assicurare sempre una corretta portata per accogliere flusso carico verticale crescente, perché in corrispondenza di ogni piano, il setto murario riceve carichi che insistono sull'orizzontamento e deviati ai setti murari dalle strutture di piano, ricondotte a degli archi).

In effetti però non si tratta di archi (varietà geometriche bidimensionali) quanto più di elementi strutturali tridimensionali perché devono assicurare l'appoggio al piano di calpestio, e quindi sono **volte**.

Dettaglio sezione longitudinale

Volte: elementi strutturali a semplice o doppia curvatura

la curvatura nella direzione ortogonale al piano sezione la individuiamo da un rigato nel piano sezione. Possiamo ricondurre il comportamento meccanico delle volte a degli archi.

Volta a doppia curvatura, a padiglione

La volta/arco, quale struttura che realizza il piano, è una **struttura ingombrante**; e questo ingombro complessivo della struttura di piano, che realizza l'orizzontamento, occupa il volume architettonico per 1,20m (monta, annotata in figura).

L'architetto paga un costo: dover dedicare tutto quello spazio alla struttura.

Parti che concorrono a realizzare una struttura di piano:

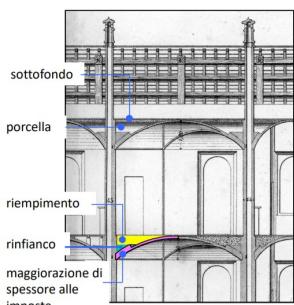
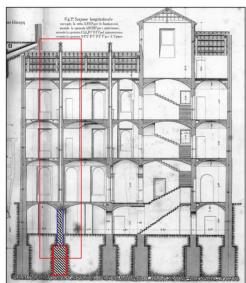
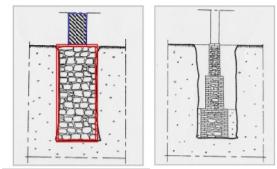
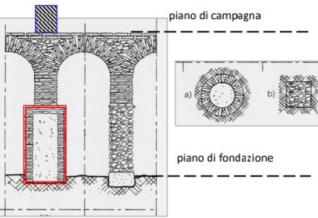
L'arco (rosa): risulta non essere di spessore costante ma vi è una maggiorazione alle imposte → indizio morfologico: il flusso di carico crescerà più ci avvicineremo alle imposte

Non è sufficiente l'arco però, per realizzare la struttura di piano, ma dobbiamo costruire una superficie orizzontale e colmare il vuoto. Troveremmo uno strato di rifiuti, scarti di cantiere, cocci di laterizio, scarpe, vecchi indumenti (**riempimento** inteso essere **leggero**, non doveva aumentare il peso della struttura , doveva solo livellare il piano). Negli edifici più recenti questo vuoto viene colmato con argille espanso per non rincorrere a rischio di incendi).

Rinfianco: in corrispondenza tra sezione di impresa e la sezione dove inizia maggiorazione dello spessore (**sezione alle reni dell'arco**) → non più materiale leggero, ma pesante, come un getto di malta o calcestruzzo (2tonnellate a metro cubo).

Come mai si aggiunge più peso alla sezione d'imposta?

Qual è la logica per cui una struttura viene ulteriormente gravata di carichi?



Arco a sesto ribassato: settore di circonferenza, ma non semicirconferenza

Arco a tutto sesto: è una semicirconferenza

Arco a sesto acuto: arco gotico

Immaginiamo che l'arco sia soggetto ad una distribuzione di carico, al suo estradosso (in figura rappresentati dai pesi magenta).

Sotto questo carico, qual è il meccanismo di collasso dell'arco?

Meccanismo di collasso: nel caso in cui crolli, pervenga a rovina, come crollerà?

L'arco si comporta come un insieme di quattro corpetti

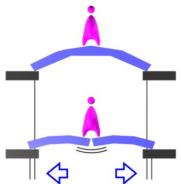
Il meccanismo di collasso implica la rotazione relativa di un corpetto rispetto all'altro → la sezione di chiave di volta si abbassa, e contemporaneamente per effetto della contro-rotazione le sezioni alle reni si alzano. Conseguenza → la volta esplode verso l'alto.

Ruolo del rinfianco: maggiorare il carico in corrispondenza delle reni dove la volta avrebbe tendenza ad esplodere. Il carico schiaccia l'arco impedendogli di alzarsi.

Caratteristiche dell'arco fino ad ora esaminate:

- resistente per forma

- è una struttura stabilizzata per massa → per non pervenire a collasso, richiede di essere pesante, con il peso opportunamente distribuito



Nel meccanismo di collasso abbiamo ipotizzato che le sezioni all'imposta non potevano traslare, ma cosa succederebbe se si muovessero?

Se lasciamo alle imposte la possibilità di traslare in lunghezza/orizzontale, il meccanismo di collasso non sarebbe più a quattro corpetti, ma a due, e tutto l'arco implicherebbe una traslazione alle imposte, l'abbassamento della chiave di volta con l'apertura della fessura verso il basso e non verso l'alto.

Cinematismo: meccanismo di collasso

- Il fatto che le imposte tendano ad allontanarsi, è l'effetto che ci fa dedurre che **l'arco è una figura strutturale spingente**. Soggetto a carichi puramente verticali, alla imposte esprime sui setti, dei carichi orizzontali.

Soluzioni

1) Serie di volte accostate: le due spinte degli archi tenderanno ad eliminarsi l'uno con l'altro

Arco di bordo: arco esterno, spinta non ripresa da nessun altro arco → soluzione arco a spinta eliminata

2) Arco a spinta eliminata: si pensa di incatenare fra di loro le imposte → la catena sarà tesa sotto l'effetto delle spinte degli archi

3) Volta isolata con catena rialzata (altra modalità di ripresa della spinta)

Volta a padiglione che all'intradosso è ritagliata da lunette laterali (**porcella**)

all'estradosso riconosciamo delle unghie di muratura, sormontate da una barra di ferro (riga nera) che unisce i due muri d'ambito e ad essi è ammorsata.

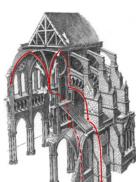
Come può una catena, (posta sul piano che corrisponde alla sezione di chiave di volta) eliminare la spinta che l'arco esprime alle imposte (più sotto)?

A rendere resistente la parte di setto murario è l'unghia di muratura che garantisce il trasferimento del carico. Soluzione molto utilizzata che valorizza alcuni aspetti dell'architettura ma che **cela la soluzione meccanica**.

4) Archi rampanti: tre semi archi (simbolo Sagra di San Michele)

La navata centrale è coperta da volte a botte con sesto acuto, che deviano flusso di carichi fino alle imposte. Quando arriviamo all'imposta, c'è una spinta, che viene ripresa dal primo arco rampante il quale devia ulteriormente la spinta, fino ad arrivare alle fondazioni.

A cosa serve l'arco rampante? Non elimina la spinta ma la riporta progressivamente fino in fondazione.



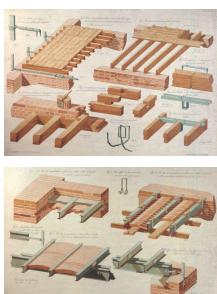
IL LEGNO

Altro materiale che risolve il problema del materiale impiegato nelle costruzioni in muratura per le volte.

Tipologie di orizzontamento:

Solaio in legno: possiamo realizzare un **orizzontamento**/struttura di piano, che deriva dall'appoggiare sulle testate dei setti murari, delle travi lignee, ordite nella direzione perpendicolare a quella longitudinale della manica, disposte secondo un **interasse** (distanza tra due elementi strutturali successivi), e poi per realizzare il piano di calpestio possiamo utilizzare un tavolato in legno (a titolo di esempio).

Queste travi non hanno più monta, ma l'ingombro strutturale del solaio si è limitato all'altezza della trave. La trave però non è spingente, non è resistente per forma, e non è stabilizzata per massa.



Questa soluzione può essere declinata con **travicelle in ferro** (ancora trasversali alla manica, interasse ravvicinato che viene colmato con dei **voltini in laterizio**) → **Solaio in travi dacciaio e voltini in laterizio**

Caratteristiche archi/volte:

resistente per forma (costoso in termini di volume),
resistente per massa/stabilizzato per massa,
spingente (caratteristica/problema → soluzioni)

Scale

Il vano scala non è diverso dagli altri dell'edificio → maglia muraria rettangolare presidiata da quattro porzioni di setti murari ortogonali adeguatamente apparecchiati alle loro intersezioni.
Una delle soluzioni: prevede **pianerottoli** con **lastre di pietra**, profondamente ammorate nei setti murari sui pianerottoli vengono appoggiati delle **rampe scala** realizzate con una **piatta in ferro** (evidenziata in rosso) su cui vengono appoggiate le pedate dei gradini in pietra.

La rampa non partecipa al comportamento meccanico globale dell'edificio.

La Copertura

A due falde, con struttura lignea che è rappresentata in pianta, a volo d'uccello, in evidenza elementi strutturali rimuovendo il manto di copertura.

Ordito: insieme degli elementi strutturali

Sezione trasversale: porzione in rosso

Riconosco le **due maniche** dell'edificio

Un **setto murario d'ambito**, che rivedo nella testata in sezione (lato destro e sinistro)

Essendo a due maniche, riconosco un **setto murario di spina** a separare le due maniche

I **setti murari trasversali** li indoviniamo perché nel sottotetto vengono prolungati con funzione di portare al di sopra del manto di copertura le canne fumarie, di cui vediamo i fumaioli.

Tetto alla piemontese: soluzione applicata quando l'edificio dispone di setto murario di **spina centrale** (viola) → quindi i maschi murari complessivamente sono 3.

Implica una **serie di travi** (rosse) che poggiano direttamente sulle testate di uno dei setti murari d'ambito e sul setto di spina. Su queste travi, andiamo ad ordire perpendicolarmente, un **secondo ordito**: travi gialle, e su queste andiamo ad ordire un **terzo ordine** di travi verdi.

Un ordine di trave si sovrappone fisicamente sull'altra.

L'intradosso delle une poggia sull'estradosso delle altre.

Stiamo progressivamente riducendo la distanza tra due elementi strutturali dello stesso tipo

Interasse: distanza tra una trave e l'altra, sempre minore

Su queste andiamo a disporre quarto ordine di elementi strutturali, **listelli** (blu), orditi perpendicolarmente alle travi verdi e alla linea di massima pendenza falda; l'estradosso offre l'aggrappo alle **tegole in laterizio**, (elementi che realizzano il **manto di copertura**, e che si montano aggrappandosi agli spigoli del listello).

Questa struttura si compone di una molteplicità di elementi strutturali che noi possiamo distinguere l'uno dall'altro → **Relazione gerarchica tra gli elementi strutturali**

Trave principale: trova direttamente sostegno sulle strutture verticali

Travi secondarie: importanza secondaria, sono portate dalle principali, ma più importanti dalle travi terzere e dai listelli (quarto ordine strutturale).

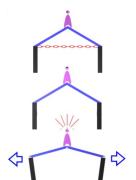
Tetto alla lombarda: si fonda su un elemento strutturale principale diverso (**capriata**) soluzione che permette di realizzare un tetto a due falde senza avere il setto murario di spina, ma solo con i muri d'ambito. → usata nelle Basiliche Paleocristiane a manica singola

Puntoni: due elementi paralleli linea massima pendenza (rossi)

Catena: congiunge piedi dei due puntoni (gialla)

Saette: due elementi obliqui (verde)

Monaco: un elemento centrale (blu)



Funzionamento capriata con elementi strutturali in **legno e ferro**:

Catena e monaco in ferro, morfologicamente più sottili degli elementi lignei.

Funzione puntoni e catena: stessa funzione arco a spinta eliminata → poiché la capriata è soggetta a carichi, la catena risulterà essere in tensione.

Il monaco è la catena sottile verticale che blocca la testa dei puntoni e il piede delle saette per evitare il meccanismo di collasso, anche esso infatti risulta essere tirato.

Capriata base: due puntoni e una catena

MORFOLOGIA DELLE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO

Analisi morfologica di una struttura multipiano realizzata con il **calcestruzzo armato**.

Nuovo materiale invocato da **L. Mies van der Rohe**

I grandi esponenti del modernismo solo quello che meglio sono riusciti a declinare, come altri, in un nuovo apparato formale, questo materiale.



Differenze edifici in muratura e legno – calcestruzzo armato

Es. Ville Savoye di Le Corbusier

L'ingombro degli elementi strutturali è ridotto ai minimi termini dai pilastri (pilots)

Posiamo osservare la capacità di accogliere i flussi dei carichi verticali, in sezioni molto più ristrette.

Assenza di allineamento delle aperture sulla facciata → finestra a nastro.

Tetto piano, non più a falde.

No volte, le strutture di piano non implicano più l'ingombro dato dalla monta della volta.

Assenza di struttura non si occupa più di separare l'interno dall'esterno, ma se ne occupa un altro elemento costruttivo: la facciata.

Le maglie murarie rettangolari non sono più un vincolo per l'architetto.

Oltre che essere stato l'oggetto di una notevole sperimentazione architettonica nei primi anni 900, per poi venire massivamente impiegato in forme standardizzate nell'edilizia di tutto il 900 italiano.

Il calcestruzzo armato

Il calcestruzzo armato è un materiale derivante dall'unione di materiali diversi: acciaio, sotto forma di barre che realizzano **l'armatura**.

La matrice in cui queste barre sono incluse è realizzata in calcestruzzo, essendo un materiale che deriva dal miscelamento di materiali **chimicamente inerti**, a granulometria differente: ghiaia e sabbia, con due materiali **non inerti**: cemento e acqua → reazione chimica che produce calore e tramuta la miscela da stato di **gel** a stato **solido**.

Il calcestruzzo è un materiale **molti performante in termini di carico**.

Caratteri importanti dal punto di vista della resistenza rispetto alla muratura:

Maggiore resistenza alla **compressione** (rispetto alla muratura)

Maggiore resistenza allo **stiramento/trazione**, in virtù delle proprietà meccaniche delle barre di acciaio che sono unite da legami fisici e chimici alle barre dell'armatura.

Sara possibile accogliere il medesimo flusso di carico in elementi verticali sempre più concentrati e che sarà possibile provvedere ad orizzontamenti non solo compressi o schiacciati, ma potranno essere elementi (travi) che sotto l'effetto del carico si possono inflettere, senza comportare il meccanismo di collasso analogo all'edificio in muratura.

Possiamo avere strutture di piano realizzate con solai composti da travi inflesse, e non più da volte.

Edificio multipiano – sezione trasversale

Strutture di fondazione isolate, corrispondono a strutture verticali isolate (non più nastro setto murario, ma pilastro). Presenta una fondazione a nastro, appartenente al setto che ha funzione anti-frana (controterra).

Solaio in cui distinguiamo un paio di **ordini di travi** (rossa e verde).

Pianta piano tipo

Pilastri nominati "P" e numero crescente fino a 23, disposti lungo **allineamenti** da p1 a p8 in corrispondenza facciata, da p9 a p15 in corrispondenza del piano medio dell'edificio (spina), da p16 a p23 in corrispondenza della facciata.

Questi allineamenti consentono di porre sulla testata, dei pilastri delle travi principali (rosse).

Il calcestruzzo armato ha consentito una maggiore flessibilità interna maggiore degli spazi? Si Trasversalmente abbiamo guadagnato flessibilità sulla disposizione dei pilastri.

Numero tratteggi direzione trasversale alla manica (blu)

Travetti (travi di importanza secondaria)

Rompitratte: punto di mezzo tra travi principali (giallo), che evita abbassamenti differenziali

Alcuni dei travetti in corrispondenza del limite della pianta sembrano più ingombranti: **travetti di bordo/di cordolo** (sono soggetti a carico aggiuntivo particolare: muro di facciata, non più portante ma portato/esprime un carico pesante).

Vano scala: morfologicamente lo distinguo per pedate e alzate ma soprattutto è perimetrato da setti in calcestruzzo armato (non più pilastri).

Intuiamo una specificità del vano scala.

Differenti funzioni di vano scala e di pilastri e travi

I pilastri sono allineati almeno in una direzione (longitudinale), quindi la trave principale è rettilinea.

Tutti i pilastri lungo un allineamento e la trave principale che li sormonta, geometricamente stanno tutti in un piano verticale.

La figura strutturale che ne risulta, è una figura strutturale piana.

Ammettiamo di ridurre questo insieme di pilastri a due, e la trave che li sormonta ad una sola campata.

Abbiamo uno schema a portale: ritto, trasverso, ritto; e fino all'avvento del calcestruzzo armato, questo genere di figura strutturale implicava che i due trasversi e il ritto, non fossero incollati fra di loro, ma l'uno posto sopra gli altri due. → si parlava di **schema trilitico**. (Due grosse pietre (ritti) e su di esse un trasverso.)

Con il calcestruzzo armato il progettista ha una possibilità nuova: quella di costruire un nuovo schema, non più trilitico ma **monolitico**. (unico blocco).

La monoliticità di questa nuova figura strutturale se il trasverso vuole all'estremità ruotare, lo può fare, ma trascinerà con se il ritto, che anch'esso ruoterà, perchè i due pezzi, sono un unico pezzo.

Questa struttura strutturale monolitica, va sotto il nome di **telaio**.

Non utilizzato solo in architettura, ma anche ad esempio in ingegneria meccanica.

L'unione monolitica è molto cara e difficile da realizzare, ma laddove il calcestruzzo armato viene "**gettato in opera**" il procedimento si semplifica.

In cantiere gli operai realizzano delle strutture provvisionali di contenimento del calcestruzzo armato in stato di gel (**casseri**) all'interno dei quali viene calata la gabbia d'armatura e poi viene gettato il calcestruzzo in stato di gel. Dopo la reazione chimica, quando il calcestruzzo armato si sarà trasformato in stato solido, si rimuove il cassero provvisoriale.

E' possibile conseguire la **monoliticità di elementi** in calcestruzzo armato gettati in fasi successive, laddove vi siano superfici di contatto dei due getti (umida e rugosa) e barre di armatura che escono dall'oggetto già indurito e che vadano ad essere riprese nel nuovo getto. → Non è necessario gettare tutto in un solo colpo.

Il telaio è stata una figura strutturale molto utilizzata nell'industria delle costruzioni.

Vantaggio del telaio: possiamo realizzare telai multipiano, multicampata

Due vantaggi qualitativi dello schema monolitico rispetto a quello trilitico:

- soggetto a carichi verticali, implica che non solo la trave superiore si infletta (abbassamento e rotazione alle estremità), ma implica per la congruenza del nodo, che se ruota l'estremo della rive ruota l'estremo del ritto e viceversa. Quindi la trave (sollevata) si abbassa di meno.
- A fronte dei carichi orizzontali cosa succede?
Lo schema trilitico in sé non è in grado di riportare a terra carichi orizzontali. Viceversa lo schema monolitico sì. Il telaio non è solo efficace e rigido canale di discesa dei carichi verticali, ma anche di quelli orizzontali.

Riportare a terra i carichi orizzontali trasversali, perchè il telaio si occupa solo di quelli longitudinali.
soluzione: vano scala

Cosa succedeva nelle **murature**? Avevamo un solo strumento verticale: il **setto murario** (riportava carichi verticali e orizzontali, purchè nel suo piano).

Nel **calcestruzzo armato** invece i carichi verticali sono portati giù dal **telaio** (nel suo piano), invece i carichi orizzontali trasversali li riporta a terra il **vano scala**.

Dettuglio pilastro 14 nel suo trascorrere tutte le strutture di piano, dal piano delle fondazioni fino al piano della copertura.

Si può osservare l'ingombro complessivo del pilastro, e distribuzione barre armatura all'interno del pilastro. Analogamente a quanto visto per il setto murario, anche il pilastro conosce **progressiva maggiorazione** dell'ingombro complessivo passando dall'alto al basso, ma anche l'armatura al suo interno viene maggiorata. Questa caratteristica morfologica risponde alle esigenze meccaniche già viste nell'edificio in muratura. Progressivo confluire di flussi di carico che vengono addotti nel pilastro dalle strutture di piano.

Sezione trasversale solaio, intercetta le tre travi principali (in rosso): due **di bordo**, e una sul filo pilastri di **spina**. I **travetti** (in prospetto) in blu e in giallo, sezione trasversale del **rompitratte**.

Sezione longitudinale (a) rispetto allo sviluppo edificio, ma trasversale rispetto ai travetti: (riquadro rosso), struttura solaio dove osserviamo più travetti consecutivi di cui osserviamo **nervatura verticale** + stato superiore calcestruzzo armato (**soletta collaborante**, collabora ad erogare prestazioni meccaniche insieme alle nervature).

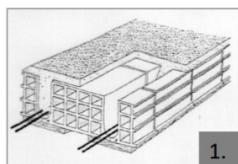
Interposti tra un travetto e l'altro, (nell'interasse delle nervature) ci sono le **pignatte in laterizio**/forme in laterizio. Al di sopra della soletta, vengono posati elementi costruttivi non strutturali (**sottotondo in malta**, usato per livellare - massetti livellati - e può ospitare alcuni impianti - idrico o riscaldamento - , e al di sopra viene posto il **manto di calpestio** in piastrelle/legno/pietra).

Analogamente a quanto visto per il pilastro, possiamo osservare in alto, il **fuoritutto del solaio**, composto travi principali, travi secondarie, rompitratte, e in basso per un travetto, l'**esplosione delle barre d'armatura**, dettaglio che specifica n di barre e il loro diametro, passo e lunghezza, delle barre che costituiscono armatura longitudinale (il cui asse è parallelo al travetto).

Travetti gettati in opera e pignatte in laterizio

Soletta in cui sono state posate, sul cassero (struttura provvisionale, adibita al contenimento getto calcestruzzo in stato di gel) leggermente distanziate, le **gabbie d'armatura longitudinali e trasversali** di travi longitudinali e trasversali.

Pignatte in laterizio, distanziate l'una rispetto alla consecutiva, da un filo scuro (interstizio tra una pignatta e l'altra, dove è stata collocata la gabbia d'armatura del travetto).



Manca il getto in opera che riempirà gli spazi vuoti tra le gabbie d'armatura e quindi realizzerà monoliticamente e alla medesima altezza, le travi longitudinali, trasversali e i travetti.

La funzione pignatte in laterizio è duplice:

- essendo pignatte vuote, **alleggeriscono la struttura di piano** → si sostituisce al calcestruzzo alleggerendo complessivamente il solaio per evitare di avere pesi inutili.
- **isolamento termico e acustico** → il solaio, grazie alle pignatte è un elemento costruttivo che ha poca capacità di trasmettere tra vano superiore ed inferiore, delle differenze di temperatura e suoni. La pignatta fa sia che il solaio non sia un ponte termico e un ponte acustico.

Solaio in figura: completamente gettato in opera, nella misura in cui tutto il solaio è gettato in opera. All'atto del getto, realizziamo in opera, tanto i travetti, quanto le travi principali, tutto contestualmente allo stesso getto.

Altri tipi di solaio per **prefabbricazione crescente**

Prefabbricazione parziale (travetti prefabbricati e pignatte in laterizio)

Alcuni elementi in calcestruzzo armato, possono non essere realizzati completamente in opera, ma possono essere realizzati precedentemente in uno stabilimento e portati in opera già allo stato di sol.

La prefabbricazione in questo caso è **parziale**, perché viene prefabbricato solamente il fondello, la parte inferiore del travetto. Vantaggio: le ali della T consentono già di portare la pignatta che si appoggia sull'ala del fondello. La parte superiore del fondello e la soletta sono ancora gettate in opera.

Prefabbricazione parziale (elementi prefabbricati a traliccio e pignatte)

Vengono prefabbricati il fondello del travetto, e dal fondello, escono prefabbricate il resto della gabbia d'armatura. L'operaio non deve complementare l'armatura, ma solo gettare in opera il calcestruzzo armato.

Predalle tralicciata e alleggerimento in polistirolo

Si prefabbrica unico fondello monolitico che ingloba i travetti, e da questa lastra prefabbricata in calcestruzzo armato, fuoriescono i tralicci del resto dell'armatura.

Simile soluzione **predalle** fa sì che il fondello sia anche automaticamente un cassero a perdere → è il fondello stesso che trattiene il calcestruzzo.

Non ho più bisogno di costruire la struttura provvisoria, e non richiede nemmeno il tempo di maturazione del getto, perché la parte prefabbricata è già in grado di sostenerlo.

Tre travi principali differenti dal punto di morfologico

Due travi di bordo hanno un ingombro in altezza, che è pari all'ingombro + soletta collaborante non eccedono lo spessore del solaio, né all'intradosso, né all'estradosso → **Trave in spessore di solaio**. Viceversa la trave di spina ha un ingombro che eccede lo spessore del solaio all'intradosso → **Travi fuori spessore di solaio intradossate**, → non vedremmo l'intradosso del solaio come una superficie piana, ma vedremmo il nostro soffitto avere una nervatura, che può pregiudicare l'omogeneità della superficie → svantaggio dal punto di vista figurativo.

Trave fuori spessore di solaio

In alto rappresentazione della sezione longitudinale della trave, la trave principale viene sezionata con piano verticale e parallelo all'asse della trave.

Ingombro complessivo e barre di armatura confuse all'interno della trave.

Sotto, dettaglio della barra di armatura a uso del ferraiolo.

In basso, sezione trasversale indicata da frecce rosse, dove vediamo lo spessore del solaio corrente (24cm), la trave principale fuori spessore con sezione trasversale rettangolare, (in base 40cm e altezza 54cm).

Dettaglio armatura trasversale e sezioni trasversali barre longitudinali.

Il numero di barre, il loro diametro e le dimensioni della trave, sono insieme caratteristiche del materiale da cui dipendono le **prestazioni meccaniche** dell'elemento strutturale (resistenza: capacità sotto carico di non rompersi, e la rigidezza: capacità sotto carico di non denunciare inflessioni che implicano abbassamenti non compatibili con gli elementi strutturali).

Tutte queste caratteristiche determinano le prestazioni strutturali: cioè offerta meccanica che la trave eroga a fronte di una domanda di prestazioni meccaniche (carichi)

applico un carico sulla trave, che esprimerà una domanda di prestazioni. La trave risponde con un'offerta di prestazioni. La domanda e l'offerta di questa trave sono espresse graficamente.

Metafora

curva rossa: quantità di pane che il panettiere ha nello scaffale

curva blu: domanda → clienti che chiedono pane

Da sinistra verso destra, stiamo percorrendo l'orario di apertura del negozio

Al mattino scaffali vuoti e nessuno in giro. Poi arriva il pane ed arrivano anche i primi clienti.

La curva rossa non supera mai la curva blu → il panettiere ha sempre più pane di quello richiesto.

Laddove la curva rossa della domanda superi curva blu offerta vorrebbe dire che la domanda di prestazione meccanica è maggiore dell'offerta di prestazione meccanica che la trave può offrire, e questo implica il **superamento dello stato limite della trave**, che potrà **spezzarsi: stato limite di resistenza, o inflettersi: stato limite di servizio**.

Curva blu dipende da **tipo di materiale, dimensione della trave e la quantità di barre d'armatura**. Curva rossa dipende dal **carico** e dalla distanza tra due pilastri (**luce**).

Soluzione brillante in caso di trave fuori spessore di solaio, per far diventare molto grande l'offerta meccanica (curva blu), disponendo la sezione trasversale della trave, con l'altezza del rettangolo più grande della base.

Prestazioni meccaniche della trave non dipendono solo da quanto materiale c'è, ma anche da come è orientato, disposto nello spazio questo materiale.

Per avere le medesime prestazioni meccaniche, a fronte di un aumento dell'altezza, non ho un raddoppio della base, ma un triplicamento di essa. E le barre non sono 4 su 18 ma diventano 8 su 18.

Il progetto è una questione di contemporaneare esigenze differenti, e il progettista è colui il quale trova il miglior punto di equilibrio per lui.

In questo caso abbiamo due esigenze:

questione figurativa: contenere la trave in spessore di solaio per garantire il soffitto totalmente piano o nervare il solaio?

questione meccanica: offerta prestazione meccanica

Sta al progettista scegliere quale di queste due esigenze prediligere: mettere in evidenza la questione **figurativa** (trave in spessore di solaio) → sapendo che è necessario spendere qualcosa in più (+calcestruzzo + acciaio, trave meno ingombrante in orizzontale ma più ingombrante in verticale);

efficienza meccanica: economia di materiale

Strutture di fondazione in rapporto con le strutture di elevazione

- Pilastro p14 è fondato da una **fondazione isolata puntuale** → **plinto**

Cassero in legno giallo, gabbia armatura del plinto.



Elemento puntuale in elevazione → fondazione puntuale

- Setto in calcestruzzo armato perimetrale nastriforme, **muro controterra** (evita che il terreno frani), a fronte di questa necessità, anche la **fondazione** sarà **continua nastriforme**, analoga alla fondazione a trincea (edifici in muratura).

- **Fondazione del vano scala** presidiato dai setti calcestruzzo armato ambito, (non su fondazioni nastriformi) poggiato su un **unico grande piastrone (zatteroni di fondazione)** impronta di tutto il vano scala, poiché esso ha il ruolo di reggere i carichi orizzontali.

60cm di calcestruzzo armato pieno per reggere flusso di carico + magrone di 15cm per regolarizzare superficie del terreno prima del getto.

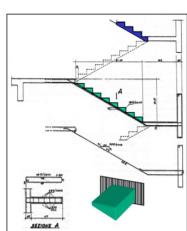
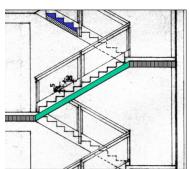
Elevazione vano scala - sezione longitudinale (piano sezione rosso), sezione trasversale (blu) e pianta dettaglio armature per ogni setto che compone il vano scala: i **setti** che presidiano il vano scala sono il più possibile **continui**, con piccole aperture, il progettista cerca di preservare la continuità dei setti murari. E laddove questa continuità conosca un'interruzione per via delle aperture, il progettista si preoccupa in quel poco di setto il calcestruzzo che sovrasta l'apertura, di maggiorare la quantità di barre d'armatura trasversali e inclinate. → **preserva prestazioni meccaniche del calcestruzzo per garantire che complessivamente il vano scala sia un efficace canale di discesa dei carichi orizzontali.**

Rampa scala (contenuto del vano scala, pianerottoli e rampe)

Comportamento meccanico delle due soluzioni

Soluzione 1: ingombro pedata e alzata, che realizza elementi pseudo triangolari, + ingombro elemento inferiore in continuità con pianerottolo superiore e inferiore.

Il gradino non è più l'elemento strutturale portante principale, ma è un elemento strutturale portato da una trave calcestruzzo (elemento verde, alto quanto la rampa) che trova appoggio ai due pianerottoli (portati dai **muri andatori longitudinali**) senza che sia portata dai due muri laterali.



Soluzione 2: assenza elemento monolitico inferiore, possiamo distinguere solo la parte che sottostà alla pedata e all'alzata.

Ogni singolo gradino sia un elemento strutturale in calcestruzzo armato (generalmente prefabbricato) che ha un estremo libero, e l'altro profondamente ammorsato nell'**andatore** (settò in calcestruzzo armato che perimetrà il vano scala, parallelo alla direzione della rampa).



MORFOLOGIA DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO

Edificio multipiano (18 piani) **Grattacielo RAI Porta Susa, 1960**

Nuovo materiale che porta a compimento l'**evoluzione delle proprietà meccaniche dei materiali**.

L'acciaio è un materiale ancora più resistente del calcestruzzo armato, tanto a compressione quanto a trazione. Questa maggiore resistenza conferma la scelta dell'**elemento inflesso** (già visto nel calcestruzzo armato) ma ne riduce ulteriormente l'**ingombro**, per via delle elevate prestazioni del materiale.

Arancione: elementi strutturali snelli

Minor ingombro strutturale, minore integrazione funzionale

Specificità che lo distingue dal calcestruzzo: la struttura in acciaio viene composta in opera a partire da elementi prefabbricati industrialmente su larga scala.

Implicazioni processo industriale:

- in cantiere dobbiamo solo montare → **rapidità di costruzione**
- l'unione monolitica che consentiva di realizzare con il calcestruzzo armato il telaio, e l'orizzontamento che trasferiva i carichi ovunque, è molto più **costosa** e richiede molti più **accorgimenti** progettuali con l'acciaio.

Morfologia dell'edificio

Poco ingombro degli elementi orizzontali e verticali

Alcuni dei pilastri sono particolari (di facciata), sono più ingombranti e simmetricamente alternati. In corrispondenza dei tre pilastri di maggior ingombro, all'interno della manica indoviniamo degli **elementi strutturali nè orizzontali nè verticali**.

Sezione trasversale e longitudinale - Specializzazione ruolo degli elementi strutturali

Fili pendolari di travi e pilastri articolati tra loro (trasversali e longitudinali) – (verde)

1 Fili di controvento longitudinale – (rosso) in questi fili sono collocati elementi strutturali iperspecializzati che avranno compito di riportare a terra i **carichi orizzontali** (vento)

3 Fili di controvento trasversali – (blu)

Telai piano terra – (rosa) anche nei fili controventati

Esigenza non strutturale → i giornalisti Rai arrivavano sotto scorta con il corteo di automobili della polizia, accompagnati fino alle scale → le automobili dovevano percorrere il piano → **pilotis**

Pianta

Edificio a due maniche (5,30m) e mezza (manica centrale da 3m)

Doppio allineamento dei pilastri in pianta volto alla **standardizzazione dimensionale degli elementi** degli orizzontamenti → in modo che tutte le travi (longitudinali e trasversali) siano della stessa lunghezza

Filo longitudinale (segmento rosso) nella sua traccia in pianta

Fili trasversali (segmenti blu) nella loro traccia in pianta

Anche in pianta, nella struttura di solaio, vediamo elementi inclinati secondo campi definiti da travi principali e secondarie (verde) → **controventi di piano**: stanno nel piano (tra la pavimentazione e il controsoffitto, quindi non visibili).

Cosa garantisce che un carico orizzontale, venga trasferito alle strutture di controvento?

A ricostituire il fatto che tutta la struttura di piano possa essere considerata come un corpo rigido, sono proprio i controventi di piano.

Nella struttura metallica abbiamo la **specializzazione dei ruoli**.

Strutture di **controvento**: portano a terra solo carichi **orizzontali**

Le strutture di controvento possono essere **verticali** (longitudinali e trasversali) o **orizzontali**

Tutte queste strutture non devono più fare affidamento al telaio e al concetto di monoliticità (complicato e costoso) → meccanismo resistente alternativo: elementi diagonali (cifra formale alternativa a telaio e setto).

Interpretazione meccanica e qualitativa del ruolo degli elementi diagonali

Modello materico realizzato da quattro pezzi di legno fra di loro articolati con cerniere da mobile.

Schema trilitico (se immaginiamo che la base non ci sia) → perfettamente adatto a riportare a terra i carichi verticali (peso omino) → **schema pendolare**: sotto l'azione di un carico orizzontale (spinta omino) ecco che i due ritti non traslano al piede, ma sono in grado di ruotare. La rotazione del ritto, implica che la testata, cioè il punto superiore, trasli. E se trasla l'estremo superiore di un ritto, traslerà anche l'altro estremo, perché fra di loro sono legati dal trasverso che assumiamo come un elemento inestensibile.

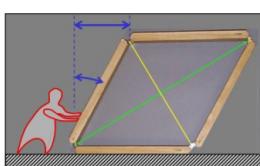
Il meccanismo di collasso di questo schema assomiglia all'asta di un metronomo (strumento che dà ritmo ai musicisti) e ha il movimento di un orologio a pendolo → **fili pendolari**.

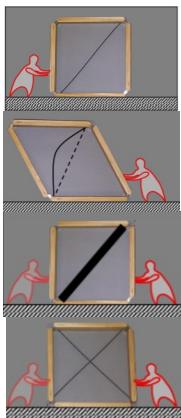
Il filo di pilastri composto da ritti e trasversi che realizzano campi rettangolari, non sono atti a riportare a terra carichi orizzontali.

Diagonali (segmenti verde e giallo)

Nel momento in cui il campo è rettangolare, le diagonali hanno le medesime lunghezze

Nel momento in cui, per effetto della rotazione del ritto, il campo diventa un **parallelogramma** → una diagonale sarà più lunga (verde), e l'altra più corta (gialla).





Inseriamo un **elemento strutturale teso** in corrispondenza della diagonale allungata
questa diagonale previene il meccanismo pendolare → bacchetta inestensibile = il campo non si allunga
Per un carico orizzontale di verso opposto, la diagonale si accorcia e l'elemento risulta compresso.
Se snello, l'elemento può instabilizzarsi.

Soluzione: mantenere ancora una **singola diagonale**, ma perchè possa essere efficace per entrambe le spinte, sarà **tozzo**, quindi stabile se compresso

Svantaggi: elemento molto **ingombrante** strutturalmente
può rappresentare un'ulteriore **limitazione**

Alternativa: introdurre un **secondo elemento diagonale** → **croce di sant'andrea** (entrambi i bracci di questa croce sono realizzati con elementi estremamente snelli perchè in ragione del verso della spinta ci sarà sempre una diagonale tesa e l'altra compressa. Quella compressa si sottrarrà alla compressione instabilizzandosi (non più meccanicamente efficace) ma quella tesa sarà sempre efficace.

Edificio monopiano multicampata

E' necessario provvedere ad includere questi elementi diagonali in tutti i piani?

No, a patto che tutti i trasversi superiori siano **inestensibili**.

Nel caso di un edificio questo implica che, se la struttura di piano (solaio) è inestensibile (rigido) allora è sufficiente predisporre un campo controventato al piano.

Edificio multipiano

Invece di inserire la croce di sant'andrea in un singolo campo, **il progettista ha scelto di inserire un diagonale per ognuno dei due campi adiacenti**.

Sarà necessario introdurre almeno un campo controventato per ogni piano, non necessariamente allineati sulla stessa verticale. → perchè i trasversi sono tutti rigidi, inestensibili.

In direzione longitudinale il sistema di controvento è lo stretto necessario.

Viceversa in posizione trasversale, il progettista ha preferito presidiare ogni piano controventato con due/tre campi controventati.

Considerazioni di carattere architettonico

Il dispositivo di controvento realizzato con diagonali ha degli effetti sugli altri valori dell'architettura: limita la distribuzione orizzontale, limita la visuale, e se questi elementi sono disposti su una parete d'ambito, limita anche l'apertura di finestre.

Ecco che la scelta che alcuni progettisti fanno, è quella di concentrare queste diagonali tutte su una diagonale, per **ridurre l'impatto delle strutture di controvento** sugli altri caratteri dell'architettura.



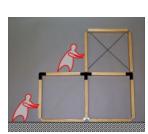
Alcuni progettisti che fanno una scelta opposta: utilizzare il dispositivo di controvento qualche elemento figurativo caratterizzante dell'opera architettonica. (**John Hancock Center** Chicago)

Facciate caratterizzate da enorme diagonali di controvento.



Non necessariamente allineati sulla verticale

allineati se i campi coincidono con le pareti d'ambito (spesso cieche) del vano scala;
allineati o non allineati in facciata per disegnare un prospetto



Non necessariamente omogenei per tipo di soluzione controventata

Piano terra → telaio

Piani superiori → elemento K

Possiamo decidere piano per piano, di usare soluzioni controventanti differenti.

Particolare della struttura di controvento

Struttura non ancora celata dagli elementi non strutturali e solaio non ancora rivestito con manto di calpestio
Controvento di parete "K" → per limitare l'ingombro strutturale, dà la possibilità di realizzare nel mezzo una porta (possibilità che non avremmo avuto se ci fosse stata la croce di sant'andrea).

Doppio pilastro

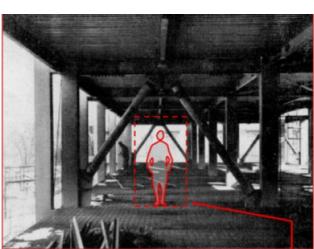
La diagonale converge nel punto di mezzeria del trasverso, e poi va ad unirsi al piede del pilastro interno
Facciata realizzata con pannelli di vetro che formano una sorta di tenda (facciata a tenda) posta in piano verticale di facciata in mezzo ai due pilastri. Un pilastro all'interno e uno all'esterno dell'edificio.

Se mantenessimo solo il pilastro esterno, vorrebbe dire che quello diagonale dovrebbe arrivare fino al pilastro esterno, ma se lo facesse, la diagonale dovrebbe bucare il pannello di vetro.

Implicazioni costruttive non banali (**foro ellittico**), vetri camera (due lastre di vetro con atmosfera protetta).

Se foro il vetro camera, si può creare la **condensa** → impatto **durabilità** dell'elemento non strutturale

Il diagonale sarebbe esposto in parte alla temperatura esterna +20/-20° → 40° *delta termico ingestibile*, la parte fredda del diagonale raffredderebbe parte iniziale del diagonale caldo, e lo farebbe andare in punto di rugiada → avei goccioline d'acqua interne → muffa. Perciò il progettista **non può tenere un solo pilastro**.



Se mantenessimo solo il pilastro interno → necessità architettonica

Non è un edificio alto (70m), però sembra alto perché nel prospetto abbiamo la rigatura verticale dei pilastri esterni al filo facciata, che lo snelliscono.

Ecco allora che il composto combinato fa sì che i pilastri siano sempre esterni al filofacciata, e che in corrispondenza dei fili controventanti venga aggiunto e binato il pilastro interno.

Oltre a risolvere tutto lo spettro dei problemi che ci siamo posti finora, questo dal punto di **vista meccanico**, fa sì che i due pilastri siano distinti nelle loro funzioni, perché il **pilastro esterno**, come tutti i pilastri dei fili pendolari è chiamato a portare i **carichi verticali**, mentre il **pilastro interno**, porta a terra i carichi **orizzontali**.

(Assonometria esplosa del solaio e foto vista intradosso solaio prima che venga controssoffittato)

Come viene realizzato un solaio in un edificio in acciaio?

Abitualmente è necessario un controvento di piano

Vi sono orditi di travi longitudinali e trasversali.

Trave principali ordite in modo **trasversale e longitudinale**

Trave secondaria (non poggia sui pilastri ma sulle travi principali trasversali)

Concettualmente, nella gerarchia, sotto c'è la principale, e sopra la secondaria.

Trave secondaria disposta in spessore della trave principale, gerarchicamente sta sopra la principale, ma costruttivamente sono poste **entrambe alla stessa quota**.

Pittogramma: direzione di orditura del solaio (il solaio poggerà sulle travi longitudinali principali e secondarie)

Solaio misto acciaio-calcestruzzo

Solaio realizzato con **lamiera grecata** (in assonometria – sezione in verde) lamierino in acciaio piegato a freddo, a realizzare una sezione trasversale che ha la forma di questa greca.

Di questa greca vediamo la superficie all'intradosso. La superficie all'estradosso, composta da **bugnette** che servono a realizzare l'aderenza e l'unione monolitica tra la superficie di questa lamiera, con un **getto integrativo di calcestruzzo in opera**, al di sopra della lamiera grecata, cosicché essa funga da cassero a perdere, e una volta stabilita l'unione tra getto e lamiera, questi collaborano ad erogare le prestazioni meccaniche necessarie dal solaio.

Il getto di calcestruzzo viene spesso integrato con una **rete elettrosaldata** (armatura diffusa con piccole barrette in acciaio, disposte ortogonalmente).

Vantaggio di questo solaio: non è necessario aspettare che il calcestruzzo maturi, ma gli operai, una volta fissata la lamiera, possono già passare al piano successivo, e pensare in seguito al getto.

Connessioni elementi strutturali → la progettazione del nodo è fondamentale, ma è materia dei specialisti Strutture prefabbricate a partire da semilavorati industriali → importanza delle unioni tra elementi strutturali

Travi a "doppio T" (verde)

Travi saldate a "C" (blu)

Colonne tubolari (giallo)

